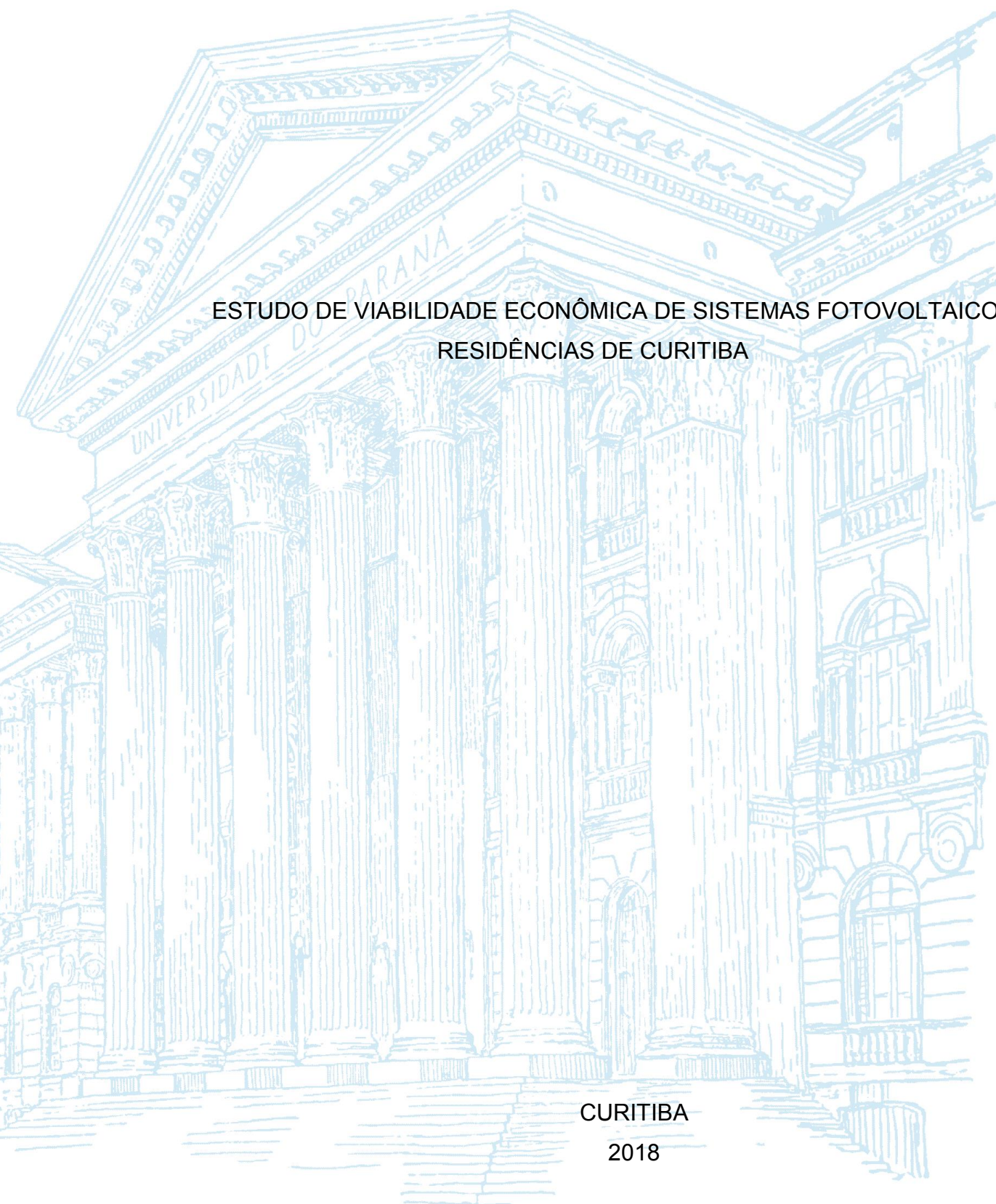


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PAULO FRANCISCO SILVA JUNIOR

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM
RESIDÊNCIAS DE CURITIBA

CURITIBA
2018



PAULO FRANCISCO SILVA JUNIOR

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM
RESIDÊNCIAS DE CURITIBA

TCC apresentada ao curso de Pós-Graduação em Finanças,
Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná,
como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em
Finanças.

Orientadora: Profa. Dra. Camila Camargo

CURITIBA

2018

Aos meus amigos, minha família e à Jéssica Hayama.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Portal Solar, que foi uma grande fonte de informação para este trabalho.

A Global Solar Atlas, NASA e Atlas Solar do Paraná da UTFPR pelo mesmo motivo acima.

Ao professor doutor Lauro Brito de Almeida pela sugestão de tema.

Ao engenheiro Luiz Fernando Salomão Chagas, diretor técnico da Solar-E, por valiosas informações que tornaram este trabalho possível.

“Sim, bem, a vida é irregular, eu suponho”. (Samwell Tarly, 2016)

RESUMO

O presente trabalho buscar analisar a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico em residências de Curitiba, determinando em quais condições de desvio azimutal, inclinação de painéis, opções de pagamento, tipo de conexão Copel e outras variáveis a instalação de um sistema fotovoltaico pode produzir um retorno, e que o valor presente líquido dessa decisão seja maior que permanecer sem o sistema. É explicada a história da energia solar, suas ramificações, detalhes sobre os sistemas fotovoltaicos, e a energia solar no mundo, no Brasil e no Paraná. Após isso, com o auxílio de uma planilha desenvolvida especialmente para este trabalho são feitas diversas análises de sensibilidade. Esta planilha permite estudar a instalação de um sistema fotovoltaico para qualquer residência localizada em Curitiba, pois quaisquer que sejam as características delas, todas estas estão resumidas nos dados de consumo, e todas recebem a irradiação solar de Curitiba (embora é claro, diferente dependendo do bairro).

Palavras-chave: Pannel fotovoltaico. Energia Solar. Finanças. VPL. Sistema fotovoltaico. Curitiba.

ABSTRACT

This present work intends to verify the economic viability of a photovoltaic system in residences located in Curitiba, determining in which conditions of azimuth, panel tilt, payment options, Copel connection type and other variables installing a photovoltaic system can make a return, and so that the net present value of this decision is higher than remain without installing it. It is explained the history of solar power, its different kinds, details about the photovoltaic systems, and the solar power in the world, in Brazil and in Paraná state. After that, with the help of a spreadsheet, which was especially designed for this work, many sensibility analysis are made. This spreadsheet allows to study a photovoltaic system installment for any residence in Curitiba, because even though the house have different characteristics, they can be all resumed in the consumption data, and every house receives the solar irradiation of Curitiba (although it is different depending on the neighborhood).

Keywords: Photovoltaic Panel. Solar Power. Finance. NPV. Photovoltaical system. Curitiba.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO	15
1.2	SITUAÇÃO-PROBLEMA	15
1.3	JUSTIFICATIVA	15
1.4	ESTRUTURA	16
2	A ENERGIA SOLAR	17
2.1	INTRODUÇÃO À ENERGIA SOLAR	17
2.2	HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR	18
3	OS TIPOS DE ENERGIA SOLAR	21
3.1	AQUECIMENTO SOLAR	21
3.1.1	Coletores solares	22
3.1.1.1	<i>Flat Plate</i>	22
3.1.1.2	<i>Evacuated Tube</i>	22
3.1.1.3	<i>Line Focus</i>	23
3.1.1.4	<i>Point Focus</i>	23
3.1.2	Reservatório térmico	24
3.2	ENERGIA HELIOTÉRMICA	25
3.2.1	A história da energia heliotérmica	25
3.2.2	Funcionamento da energia heliotérmica	25
3.2.3	Estratégias para funcionamento contínuo	27
3.3	ENERGIA FOTOVOLTAICA	28
3.3.1	Energia descentralizada	29
3.3.2	Preço da energia fotovoltaica	31
3.3.3	Eficiência dos painéis fotovoltaicos	32

3.3.4	Inversores solares	34
3.3.5	Baterias solares.....	35
3.3.6	Painéis fotovoltaicos.....	37
3.4	OUTROS USOS	37
3.4.1	Agricultura.	38
3.4.2	Aviões solares	38
3.4.2.1	Solar Impulse	40
3.4.3	Carros solares	41
3.4.4	Estacionamento solar	44
3.4.5	Estrada solar	44
3.4.6	Ciclovias solar	46
3.4.7	Heliotérmica	46
4	CAPACIDADE DE ENERGIA SOLAR.....	47
4.1	NO MUNDO	47
4.1.1	Energia heliotérmica.....	47
4.1.2	Principais países	48
4.1.3	Regiões do globo	50
4.1.4	Potencial.....	53
4.2	NO BRASIL	53
4.2.1	Perfil dos interessados pela energia solar no Brasil	55
4.2.2	Distribuição da irradiação no território nacional.....	56
4.2.3	Usinas brasileiras	57
4.2.4	Energia heliotérmica no Brasil.....	58
4.2.5	Produção descentralizada de energia no país	58
4.3	NA ALEMANHA.....	60

4.3.1	Sobretaxa e incentivos	62
4.4	NO PARANÁ E EM CURITIBA	63
4.4.1	Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná	64
4.4.2	Curitiba.....	64
5	ESTUDO DE VIABILIDADE.....	66
5.1	INTRODUÇÃO	66
5.2	PLANILHA	66
5.2.1	Variáveis.....	67
5.2.1.1	Consumo	67
5.2.1.2	Número de faces	68
5.2.1.3	Desvio azimutal	68
5.2.1.4	Inclinação dos painéis	70
5.2.1.5	Conexão Copel.....	71
5.2.1.6	Base de dados de irradiação solar	71
5.2.1.7	Inflação da tarifa	72
5.2.1.8	Opções de pagamento	73
5.2.2	Produção	73
5.2.2.1	Número de painéis	73
5.2.2.2	Melhor face.....	73
5.2.2.3	Conta de energia	74
5.2.2.4	Bandeiras tarifárias.....	75
5.2.2.5	Valor presente líquido.....	75
6	ANÁLISES DE SENSIBILIDADE.....	77
6.1	VARIÁVEIS	77
6.1.1	Residência exemplo	77

6.2	DESVIO AZIMUTAL	78
6.2.1	Inclinação ótima	78
6.2.2	Inclinação 11 graus	80
6.2.3	Inclinação 14 graus	82
6.2.4	Inclinação 19 graus	83
6.2.5	Inclinação 26 graus	84
6.2.6	Inclinação 32 graus	85
6.2.7	Inclinação 37 graus	87
6.2.8	Inclinação 41 graus	88
6.2.9	Detalhes sobre as inclinações	90
6.2.10	Melhor e pior desvio azimutal	91
6.2.11	Excluindo inclinação ótima	95
6.3	INCLINAÇÃO	100
6.3.1	Desvio azimutal 0°	100
6.3.2	Desvio azimutal 45°	101
6.3.3	Desvio azimutal 90°	102
6.3.4	Desvio azimutal 135°	102
6.3.5	Desvio azimutal 180°	103
6.3.6	Desvio azimutal 225°	104
6.3.7	Desvio azimutal 270°	105
6.3.8	Desvio azimutal 315°	106
6.3.9	Detalhes sobre os desvios azimutais	107
6.3.10	Melhor e pior inclinação	108
6.4	TIPO DE CONEXÃO COPEL	113
6.5	BASE DE DADOS DE IRRADIAÇÃO	114

6.6	OPÇÕES DE PAGAMENTO	116
6.7	SENBILIDADE COM SOLVER.....	119
7	CONCLUSÕES	122
<u> </u>	REFERÊNCIAS	123

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO

Determinar a viabilidade econômica e financeira da instalação de painéis solares em residências de Curitiba.

1.2 SITUAÇÃO-PROBLEMA

A energia solar é uma energia que sempre foi encarada como “futurista” e “coisa para cientistas”, mas nas últimas décadas ela vem sendo cada vez mais implantada na nossa matriz energética, em especial em residências e empresas. Em 2017, a região de Curitiba teve um grande exemplo disso: o hipermercado Condor se tornou a maior usina solar do sul do país. Além disso, a UFPR apresentou um projeto para implementar o uso da energia solar, o qual incluiu um estudo de viabilidade.

Mas e no caso das residências? Este trabalho pretende realizar um estudo de viabilidade econômico-financeira para a implementação de painéis solares, com o intuito de verificar em quais condições seria vantajoso colocar painéis solares nos quintais/telhados ao invés de seguir 100% com a energia fornecida pela Copel.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho irá reunir todos os custos de se instalar e manter painéis solares fotovoltaicos em residências de Curitiba, bem como todos os possíveis ganhos para compará-los e chegar a um veredito sobre a instalação ou não dos mesmos. O estudo também incluirá análise de sensibilidade para elencar quais seriam as condições nas quais os painéis solares seriam viáveis e quais não. O objetivo é colaborar para que os moradores de Curitiba tenham uma real noção de tudo que deve ser levado em conta

para a instalação dos painéis e ajudá-los a tomar a decisão.

1.4 ESTRUTURA

Primeiro será feita uma revisão da história da energia solar e explicada suas diferentes formas, apresentando algumas curiosidades e dados que serão necessários para o estudo de viabilidade. O foco maior será na energia fotovoltaica, aquela dos painéis solares. Sobre esta forma de energia, será explicado o que é um sistema fotovoltaico e os seus componentes, inclusive com suas melhores formas de instalação, que são levados em conta no estudo. São apresentados também outros usos para a energia solar, que abrem possibilidades para futuros trabalhos.

Em seguida, será exposta a energia solar no mundo, os principais países que investem nela e suas políticas, dando introdução para as políticas brasileiras que influenciaram no estudo, e para o panorama da energia solar no estado do Paraná.

O estudo de viabilidade se dará pelo auxílio de uma planilha especialmente elaborada para este trabalho, com todas as variáveis a serem consideradas para calcular a produção de um sistema fotovoltaico e a viabilidade de sua instalação. Por final, serão analisadas as variáveis e suas sensibilidade na viabilidade do sistema.

2 A ENERGIA SOLAR

2.1 INTRODUÇÃO À ENERGIA SOLAR

A energia solar, como o próprio diz, é a energia proveniente do sol. Embora essa explicação seja simples, a energia solar é, na verdade, dividida em 3 tipos: aquecimento solar, energia solar fotovoltaica e energia heliotérmica. O aquecimento solar é o uso direto do calor da luz solar para o aquecimento, seja de ambientes ou de água, para uso em piscinas ou banho. A energia solar fotovoltaica constitui no uso dos painéis solares com as chamadas células solares para captar a luminosidade do Sol e transformá-la em energia elétrica, para diversos fins. A energia heliotérmica é a usada em grandes usinas para a produção de energia elétrica. Estes 3 tipos de energia solar são considerados ativos, pois produzem energia, sendo esta renovável. Existem também modos passivos de aproveitamento da energia solar que envolvem a redução de gastos de energia elétrica, como uma arquitetura que permita iluminar um ambiente usando a luz natural do dia, ou uso de materiais de construção que favoreçam um aquecimento natural. A implementação do horário de verão, por exemplo, pode ser considerada uma forma passiva de aproveitamento da energia solar, já que visa uma redução de consumo de energia elétrica.

Uma coisa interessante é como tudo está, na verdade, interligado: a energia eólica é uma derivada da energia solar, já que a existência dos ventos se deve à radiação solar. O mesmo pode ser dito das energias de maré (oceânica), de biomassa e até mesmo da hidroelétrica, já que o ciclo da água também é um produto da energia solar que a Terra recebe. Porém, o Sol em si é na verdade uma gigantesca usina de energia nuclear, já que a sua energia provém de uma fusão de hidrogênio.

Apesar de toda a sua capacidade energética, sua fonte renovável e seu caráter não poluente, a energia solar ainda está muito longe do seu potencial de uso no Brasil. Segundo Rafael Shayani, professor doutor de Engenharia Elétrica do Laboratório de Fontes Renováveis da Universidade de Brasília (UnB), o maior obstáculo no Brasil é político. Há uma falta de incentivo e políticas para que finalmente deslanche a implantação de painéis solares nas residências, comércios e indústrias do país. O

governo não põe no cálculo o custo que as formas poluidoras de geração de energia causam na saúde pública ou o custo de uma inundação para a construção de uma hidrelétrica. Sem incentivo e planejamento, as empresas do setor ficam receosas em investir em algo que pode não dar resultado, já que os consumidores também enxergam poucos benefícios em colocar um painel fotovoltaico em seus telhados. Algumas empresas de metalurgia localizadas no estado de Minas Gerais demonstram interesse em entrar no setor, porém sem o apoio do governo elas não investem e assim o silício brasileiro vai para a exportação, enquanto o país importa os equipamentos fotovoltaicos, feitos de silício.

A energia solar depende muito do apoio do governo com os seus incentivos porque ela ainda está cara, se comparada às outras formas de energia, especialmente os combustíveis fósseis, embora esteja em queda. Ela somente consegue competir com duas formas de energia. O leilão de energia solar, que começou a acontecer no ano X, ajudou e pode continuar ajudando na redução do custo. Além de perder em questões ambientais e na dependência do petróleo, o país está perdendo uma grande oportunidade de sair na frente em um setor do futuro, perdendo empregos e tecnologia para as futuras gerações, o que poderia melhorar a economia nacional. Uma troca por uma energia mais cara é realmente algo que é preciso ter cuidado, porém como os combustíveis fósseis não são renováveis, logo suas reservas vão diminuir, fazendo com que seu preço suba. Além disso, eles são menos igualmente distribuídos pelo planeta, fazendo que pequenos grupos de nações possam dominar eles e ganhar vantagem sobre as outras. Se o país produzir a sua própria energia sem precisar de insumos internacionais, terá maior soberania sobre o seu próprio destino.

2.2 HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR

Embora seja uma energia do futuro, a energia solar é na verdade extremamente antiga, na sua concepção de que é a energia que provém do aproveitamento do calor ou da luz do Sol, já que há muitos anos atrás o ser humano usava vidro para direcionar a luz do sol para acender fogueiras. Por volta do século 3 a.c., os romanos e os gregos usavam espelhos para acender tochas e fogueiras para

cerimônias religiosas. É bastante conhecida uma lenda de que Arquimedes, um dos grandes cientistas de todos os tempos, tenha usado espelhos para refletir a luz do sol e assim queimar navios romanos que estavam cercando a cidade de Siracusa. Experimentos conduzidos durante os anos mostraram que isso seria possível, mas pouco provável de ter realmente acontecido.

O francês Alexandre Edmond Becquerel é considerado o pai da energia solar. Foi este físico quem fez os primeiros experimentos e observações sobre esta forma de energia, usando oxigênio líquido. Em um dos experimentos que conduzia, observou que eletrodos de platina e prata faziam surgir um efeito fotovoltaico. Willoughby Smith descobriu a fotocondutividade em selênio sólido. Baseado nessa descoberta, William Grylls Adams fez um experimento que o permitiu observar, pela primeira vez, uma corrente elétrica em materiais expostos pela luz. Charles Fritts foi o primeiro a realmente construir células solares, usando selênio e ouro, mas nesta época não era a questão da produção de energia a principal motivação dos experimentos, tanto que Werner Siemens, que foi o primeiro a encontrar uma aplicação comercial para a descoberta, a utilizou como fotômetro para as câmeras de sua companhia. O primeiro Nobel que Einstein ganhou foi devido às suas contribuições para o entendimento do efeito fotoelétrico. Sua teoria, embora muito criticada pela academia, se provou verdadeira, inclusive por experimentos de colegas que o tentavam refutar veemente. Em 1954, Calvin Fuller junto com seus colegas da Bell Laboratories, desenvolveram as células fotovoltaicas para o uso como fornecedor de energia, resolvendo o problema de um deles, que buscava uma solução para alimentar redes de telefone em locais remotos nos Estados Unidos.

Foi com essa mentalidade, a de fornecer energia para lugares remotos, que a energia fotovoltaica teve seus primeiros passos de desenvolvimento, já que era complicado desenvolver toda uma rede de cabos ou criar uma usina, já que a mesma seria pouco aproveitada nesses locais. Além das redes telefônicas, a energia fotovoltaica foi utilizada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), também na década de 1950, embora com receios. Um mini painel solar foi incorporado ao Vanguard 1, o segundo satélite artificial lançado pelos Estados Unidos, o quarto do

mundo. A agência espacial estava cética quanto ao uso das células solares, tanto que o painel solar possuía apenas 1 dm², porém, o transmissor alimentado por ele durou 7 anos, enquanto o alimentado de forma convencional, apenas vinte dias. A partir deste ponto, a tecnologia de células solares ganhou bastante força na sua utilização em satélites, tanto pela NASA quanto pela agência soviética, que lançou o Sputnik-3 com um painel solar também. A guerra fria e sua consequente corrida espacial fez com que a tecnologia de células solares recebesse vários estudos e inovações, para que fosse aprimorada e usada contra o inimigo. Infelizmente, durante este tempo não havia uma preocupação em tornar a tecnologia mais economicamente viável, e isso atrapalhou a difusão de seu uso até mesmo nos dois países que a desenvolviam. Pensavam que era uma energia demasiado futurista, que seria usada apenas por cientistas.

Este panorama apenas mudou na década de 1970, quando outro "herói" da energia solar, Joseph Lindmeyer, fundou a Solarex após descobrir uma célula fotovoltaica 50% mais eficiente do que as anteriores, abrindo o caminho para o seu uso civil. A crise do petróleo, com o seu expressivo aumento de preço, tornou a energia solar ainda mais viável economicamente, e mais pesquisas foram conduzidas, já que foi uma das primeiras vezes que o mundo percebeu que era interessante buscar alternativas para o petróleo, seja por sua escassez, poluição ou pelo domínio que exercem os países que possuem controle das reservas. Esta situação levou a descoberta de novos materiais e uma verdadeira revolução no processo de fabricação dos painéis solares, os tornando mais acessíveis.

3 OS TIPOS DE ENERGIA SOLAR

3.1 AQUECIMENTO SOLAR

O aquecimento solar é uma das formas mais viáveis de uso de energia solar e pode ser aproveitado através do uso de materiais de construção que absorvam a energia solar durante o dia, e a liberem durante a noite, mantendo o interior do prédio em uma temperatura adequada. A construção de uma chaminé solar também pode ser posta em questão. Uma chaminé solar faz com que o ar dentro do ambiente fique aquecido, através de correntes de ar. As árvores que perdem suas folhas no outono e no inverno, e recuperam na primavera e no verão, conhecidas na botânica como Caducifólias, também são usadas como uma forma de aquecimento, já que durante o verão suas folhas bloqueiam a luz do Sol e durante o inverno a ausência de folhas permite uma maior incidência da mesma.

Há também o uso do aquecimento solar para esquentar a água, para ser usada em banhos ou piscina, sendo que o país que mais utiliza essa forma de energia a China, embora proporcionalmente Israel e Chipre liderem. O aquecimento da água pode ser aproveitado também para o preparo de alimentos, embora existam também os fornos solares, que não utilizam água. Estes foram criados em 1767, e podem chegar à temperatura de até 150 °C. Mesmo sendo uma tecnologia antiga, apenas na década de 90 que foram realizados mais pesquisas e aprimoramentos nela. Embora funcional, é pouco conhecido, pouco utilizado e sua classificação como "energia solar" é pouco conhecida, sendo que é mais usado em países com pouco acesso a combustíveis. Por essa razão, uma futura escassez nos recursos pode levar a uma maior adesão da população, o que levaria a uma queda no uso de lenha para cozimento de alimentos, evitando o desmatamento. Para fins de comparação, o tempo de payback de um forno solar é entre 1,45 e 3,86 anos.

As duas principais peças de um aquecedor solar de água são: um coletor solar (para captar o calor do Sol) e um reservatório térmico, para armazenar a água

aquecida. Os principais tipos de coletor solar são: *Flat Plate*, *Evacuated Tube*, *Line Focus* e *Point Focus*.

3.1.1 Coletores solares

3.1.1.1 *Flat Plate*

Os *Flat Plate* são compostos de um material transparente, como vidro e uma placa de metal totalmente pintada de preto, com tubos por dentro do sistema para que a água fria passe, se aqueça e saia. A luz solar passa pelo material transparente e bate na placa absorvedora, que então transmite o calor para a água. Essas placas devem ser feitas com materiais que absorvam facilmente o calor/radiação, mas que não o/a liberem com tanta facilidade. O *design* dos canos e os materiais utilizados, principalmente para a placa de absorção impactam na capacidade de aquecimento do coletor, ou seja, na sua *performance*. Um avanço em relação aos *Flat Plate* são os *Flooded plate*, que ao invés de transportar a água por canos, simplesmente permitem que ela encha um espaço entre a placa de absorção. As placas geralmente cobertas por tinta preta, porém o uso de um revestimento do tipo planície seletiva aumenta a *performance* dos coletores, com menor perda da energia absorvida. As placas são protegidas por poliuretano ou fibra de vidro, para que percam menos energia absorvida.

3.1.1.2 *Evacuated Tube*

Os de tipo *Evacuated Tube* consistem alguns tubos pelos quais a água passa e recebe o calor do sol. A forma pela qual estes tubos são construídos permite que eles independam da temperatura do ar para a sua operação. Esta é a forma mais eficiente de energia de aquecimento solar, alcançado 70%, ou seja, a cada 100 kWh de

energia recebida, eles transferem 70 kWh para a água. Além de ser o mais eficiente, é o mais caro já que os tubos são complicados de serem produzidos, já que são trabalham com vácuo e pressão para obter um melhor resultado.

3.1.1.3 *Line Focus*

Já os *Line Focus* usam espelhos curvados e canos para captar o calor do sol. Os canos passam no meio dos espelhos, e estes são curvados para os seus centros, ou seja, para os canos, fazendo com que toda a radiação seja refletida para a água passando por esses canos. Os espelhos podem ser movidos durante o dia, para acompanhar o sol obtendo a maior utilização de seu calor. A utilização destes coletores para propósitos domésticos é rara, geralmente são usados em usinas solares para a produção de energia elétrica.

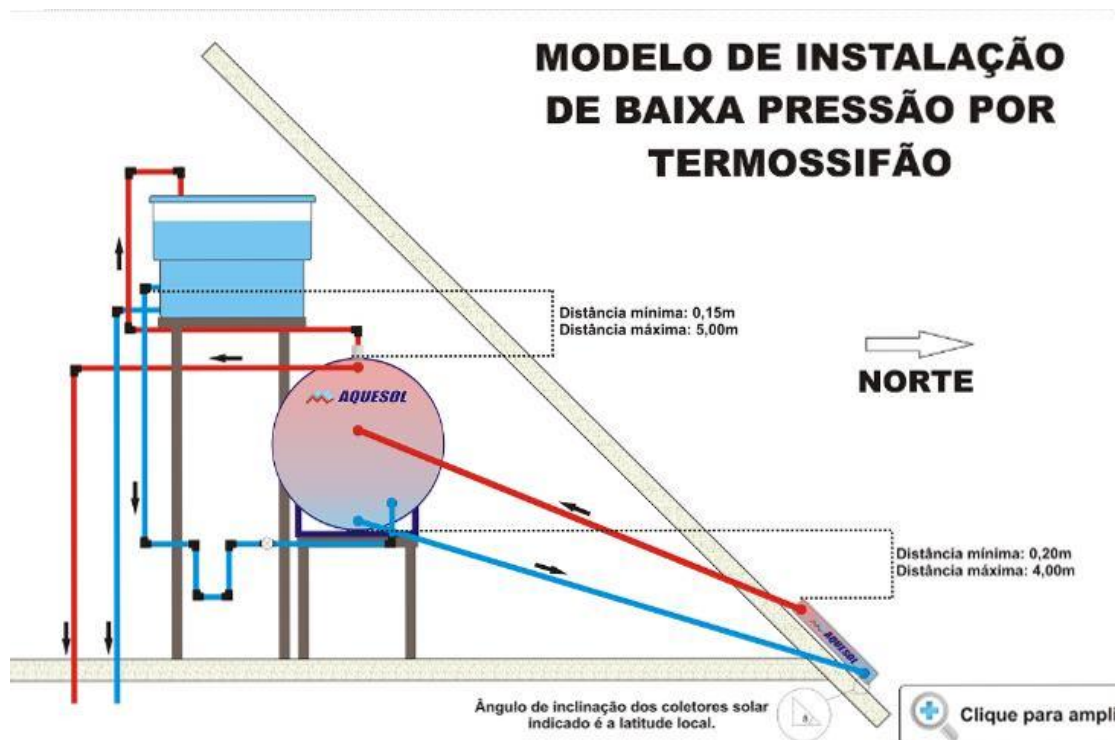
3.1.1.4 *Point Focus*

Por último, os coletores do tipo *Point Focus* são compostos de refletores parabólicos que possuem refletores geralmente feitos de prata ou alumínio. Esses refletores direcionam a luz para um único ponto focal, o fazendo a chegar a temperaturas altíssimas, fazendo com que a água vire vapor, que se move, girando uma turbina para gerar energia. Esse processo é bem parecido com o usado em usinas nucleares, eólicas e hidrelétricas. A eficiência deste método depende bastante do material usado, bem como na engenharia dos coletores para direcionar a luz para o ponto correto e a capacidade dos mesmos de seguir o Sol durante o dia, para uma melhor coleta da energia da estrela.

3.1.2 Reservatório térmico

O objetivo de um reservatório térmico é armazenar a água aquecida e a proteger das variações de temperatura, para que continue aquecida. Eles possuem duas camadas separadas por algum material que funciona como isolante térmico (como a lã de vidro ou poliuretano) e podem ser feitos de aço inoxidável, cobre e aço carbono. Dividem-se em dois tipos: de baixa ou de alta pressão, a escolha entre os dois vai depender da distância (altura) entre o reservatório e a caixa da água, sendo que devem ser de preferência, instalados dentro do telhado, para maior proteção térmica. Alguns modelos vêm com uma alternativa para o aquecimento para dias nos quais a incidência solar não é suficiente, como opções elétricas ou a gás. Há reservatórios entre 200 litros e 1000 litros de capacidade de armazenamento. A FIGURA 1 mostra um modelo de instalação de um reservatório de baixa pressão, para melhor visualização.

FIGURA 1 – MODELO DE INSTALAÇÃO DE BAIXA PRESSÃO POR TERMOSSIFÃO



FONTE: Aaron Guides (2017)

3.2 ENERGIA HELIOTÉRMICA

A energia heliotérmica é bastante parecida com o aquecimento solar, mas as temperaturas obtidas são bem mais elevadas, já que a intenção é produzir energia renovável em escala de usina. Também usa a lógica de refletir a luz do sol usando espelhos ou outros materiais com capacidade de refletir para aquecer a água e movimentar uma turbina. A estrutura é dividida em duas partes: coletor térmico e ciclo de potência. Assim como no aquecimento solar, o coletor é responsável por captar a energia solar (luz do sol), embora neste caso ela não seja usada para aquecer um líquido que passa dentro da estrutura do coletor. A luz do Sol é refletida em um ponto, onde é utilizada para aquecer um líquido, transformando em vapor para girar a turbina e gerar energia. As usinas solares também podem utilizar uma forma alternativa de combustível para produzir vapor e energia, caso haja um período com pouca incidência solar. Desta forma, a usina poderá gerar energia de uma forma mais constante, aproveitando também o espaço, a estrutura e o pessoal já existente.

3.2.1 A história da energia heliotérmica

A história da energia heliotérmica tem início com a lenda de Arquimedes, já mencionada, na qual ele, com a ajuda de espelhos, teria concentrado a luz solar na frota dos romanos, livrando a cidade de Siracusa da dominação. Auguste Mouchout, em 1866, usou uma parábola para produzir vapor para um motor e vinte anos depois Alessandro Battaglia foi o primeiro a obter uma patente de um coletor solar. Shuman em 1913 conseguiu fazer um sistema de irrigação funcionar com uma pequena estação de energia heliotérmica. A primeira usina heliotérmica leva assinatura de Giovanni Francia e foi inaugurada em 1968, na Itália.

3.2.2 Funcionamento da energia heliotérmica

Com a finalidade de melhor clarificar a diferença entre aquecimento solar e energia heliotérmica, além do fato de as duas possuírem propósitos diferentes (uma para aquecer a água ou o ambiente e outra para a geração de energia), nos coletores da energia heliotérmica, apenas a radiação solar direta é utilizada, ou seja, a luz em si e não o calor. Por essa razão, os coletores de energia heliotérmica não conseguem gerar energia em dias nublados, enquanto os de aquecimento solar ainda assim conseguem captar o calor e aquecer a água. São quatro os tipos de coletores de energia heliotérmica: cilindro-parabólicos, refletores lineares de Fresnel, torres solares com helióstatos e discos parabólicos.

Os coletores cilindro-parabólicos parecem muito com os coletores Line Focus do aquecimento solar, pois usam estruturas curvas com um cano passando pelo meio (linha do foco). São utilizados vários coletores em linhas, como se fossem calhas, e um fluído passa pelo cano no centro, que possui um material com baixa irradiação térmica, para evitar perdas de energia. Os refletores lineares de Fresnel foram um avanço na tecnologia em termos de custos, usando espelhos planos ao invés de curvo-parabólicos que refletem a luz solar para um ponto num absorvedor, localizado acima dos coletores, formado por um receptor em formato de tubo e um espelho parabólico. Esta tecnologia apesar de apresentar menor custo, é mais indicada para indústrias e fazendas do que para a produção de energia para a rede propriamente dita. O sistema de torres solares usa vários espelhos concentrados para um único ponto em toda a usina: a torre. Esta tecnologia permite temperaturas que chegam a 2000 °C, sendo muito boa para a produção de energia elétrica. Por fim, os discos parabólicos são enormes antenas com uma concentração em um ponto a frente delas, pouco diferindo as outras tecnologias a partir daí.

Enquanto os coletores captam a energia solar, são os ciclos potência que são responsáveis pela produção/transformação em energia elétrica. O ciclo é o seguinte: o líquido é aquecido pela energia dos coletores, se expandindo e girando a turbina, que gera eletricidade e vai para a rede. Após isso, o líquido é resfriado e enviado novamente para ser aquecido.

3.2.3 Estratégias para funcionamento contínuo

Para garantir um funcionamento contínuo da usina, existem duas estratégias que podem ser adotadas em conjunto: armazenamento térmico e co-combustão. O armazenamento térmico consiste em colocar o excesso de calor gerado em algum material com boa capacidade de conservá-lo, para poder ser utilizados depois para aquecer o fluido. E a co-combustão é o uso de outro combustível para queimar e usar seu calor, podendo ser um combustível fóssil como carvão e petróleo ou algo mais alternativo, como biomassa e lixo.

O armazenamento térmico pode ser alcançado usando dois tanques, um de alta temperatura e outro de baixa. O calor em excesso é armazenado para ser usado durante a noite, ou em períodos com pouca irradiação, isso é uma vantagem em relação à energia fotovoltaica, a qual não possui esta opção. Uma das técnicas de armazenamento de energia térmica são as chamadas lagoas solares, que usam sais e um fundo preto para que a água mais quente fique no fundo e a água mais fria no topo. A camada mais ao topo possui pouca concentração de sal e serve como um coletor solar, a do meio serve como um isolante térmico, evitando que a energia (calor) escape e a camada mais profunda é o armazenamento, pois mantém uma temperatura constante. O calor só sai da lagoa quando a água da camada inferior é retirada e substituída por água fria para ser novamente aquecida. Susana Costa (2014) inclusive sugere a possibilidade da utilização da lagoa solar para obter calor para conversão de biomassa, uma interessante proposta que combinaria dois tipos de energia renovável.

A energia heliotérmica não tem experienciado o mesmo crescimento da sua “prima” fotovoltaica. Isso se deve a dois fatores principais: os painéis solares apresentaram uma forte queda no preço nos últimos anos, o que não aconteceu com as tecnologias da energia heliotérmica, e uma usina heliotérmica só consegue produzir energia com radiação solar direta, ou seja, se houver chuva ou céu nublado, os coletores não irão captar a energia solar, diferentemente da energia fotovoltaica que pode ser produzida com radiação difusa. A vantagem da energia heliotérmica é a capacidade de armazenamento térmico.

3.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica é a energia proveniente da luz solar, captada pelas chamadas "celulares solares" ou "células fotovoltaicas". Pode ser considerada a forma mais famosa de energia solar, sendo confundida com a mesma, e é a forma mais fácil de produzir energia de uma forma descentralizada, ou seja, é a mais acessível para residências, comércios e pequenas indústrias, é o centro da energia solar e deste estudo de viabilidade. O termo é composto pela palavra "*phos*" do grego, que significa "luz" e "*volta*", uma unidade de medida de força, batizada em homenagem ao inventor da pilha, Alessandro Volta. Foi com esta forma de energia que Alexandre Edmon Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico, que levou a criação das células solares. A luz do sol é absorvida pelas células, e sua energia é transferida para os elétrons que, ao se moverem, geram a corrente elétrica. Resumindo, a luz se transforma em energia. Nos últimos anos muita gente passou a se interessar pelos painéis solares, embora há alguns anos eles já apareciam na mídia e em filmes e séries. O que poucos sabem é que os sistemas fotovoltaicos ligados à rede já são utilizados há mais de 30 anos.

Algo a ser esclarecido é que há uma diferença entre os painéis solares e as células fotovoltaicas, o painel é apenas uma forma de organizar e dispor as células, sendo que essas podem ser utilizadas de outra forma e em outros materiais, como vidro, filmes e outras formas. Dessa forma, a forma de captação pode ser adaptada dependendo do projeto arquitetônico. Quase todas as células utilizadas hoje em dia, cerca de 90%, são feitas de cristal de silício. São usados dois tipos de silício, cada um combinado com um elemento diferente para que um fique carregado positivamente e outro negativamente, para que reajam entre si com a luz solar para gerar corrente elétrica. Feita esta explicação é inegável que a forma de painéis é a mais utilizada, a mais famosa e mais fácil de encontrar para poder instalar em uma residência ou num comércio. Os sistemas fotovoltaicos são divididos em dois, dependendo de sua conexão ou não com o resto da rede elétrica. Os sistemas *off-grid* (fora da rede) foram os primeiros a surgirem, como já mencionado, pois eles atendiam a primeira função da energia solar: levar energia para locais remotos que não podiam

receber uma usina. Os sistemas *grid-tie* (ligados à rede) surgiram quando a energia solar fotovoltaica passou a ser uma alternativa de geração de energia independente de seu isolamento ou não. Os sistemas *off-grid* costumam ter baterias para armazenar o excesso de produção de energia e utilizá-lo em momentos de pouca irradiação solar. Já os ligados à rede podem ser usados para fornecer energia para o resto da rede, ou seja, vender energia para a central. Isso pode ser utilizado com um relógio de energia que possui opção de reversão bem como com o uso de dois relógios, um para medir a saída e outro a entrada. Com essa possibilidade, é possível até zerar a conta de luz e produzir energia em qualquer lugar, instalando os painéis nos telhados. Isso criaria uma descentralização incrível na produção energia.

FIGURA 2 – DO MINÉRIO AO PAINEL



FONTE: Kauer, Lucas (2016)

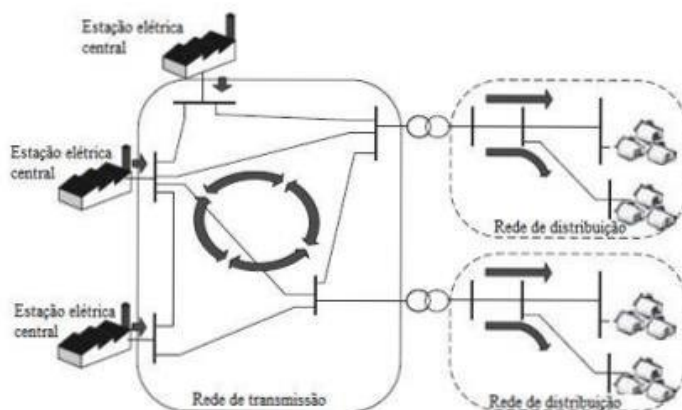
3.3.1 Energia descentralizada

A energia solar fotovoltaica é a melhor forma de produção de energia descentralizada, já que basta ter uma propriedade com acesso à luz do Sol para instalar um painel fotovoltaico. A produção de energia descentralizada é benéfica para os proprietários, pois podem ter uma fonte de energia própria, sem precisar pagar impostos por isso, diminuindo a conta de energia, mas também é benéfica para o governo, para a sociedade em geral e para a natureza. Os painéis permitem a produção de energia em ambiente já ocupado, por isso não é necessário desmatar, inundar

áreas, investir em usinas, contratar trabalhadores, licitar ou comprar terrenos, uma economia extremamente expressiva. Os sistemas de energia descentralizada trabalham com a lógica que uma produção em excesso pode ser vendida para a rede, gerando créditos. Os sistemas fotovoltaicos também valorizam os imóveis e permitem uma maior segurança contra os garranchos do governo no setor elétrico.

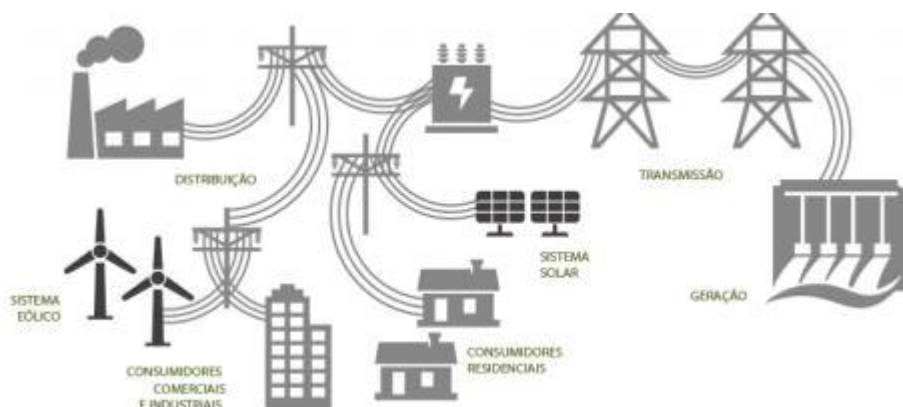
A forma convencional de produção de energia consiste em usar grandes usinas de geração para abastecer todos os outros pontos da rede, podendo ser essas usinas nucleares, hidroelétricas ou térmicas, usando diversos combustíveis como carvão, óleo, gás e outros. A título de curiosidade, nos anos 40 a maior parte da energia brasileira vinha da queima de lenha. As vantagens deste sistema convencional são, segundo Susana Costa (2014): eficiência em termos de recursos humanos, e as linhas de transmissão tornam possível a expedição de energia para lugares longínquos com perdas mínimas. A energia distribuída, por sua vez, permita uma maior liberdade para o produtor, menos custos com tributos, flexibilização e uma expansão da capacidade instalada com menor tempo. Além da energia fotovoltaica, Susana Costa (2014) enumera as seguintes alternativas para energia descentralizada: motores alternativos, turbinas a gás, microturbinas, células de combustível, eólica, heliotérmica, mini hídrica e geotérmica.

FIGURA 3 – PRODUÇÃO DE ENERGIA CENTRALIZADA



FONTE: Jenkins (2010).

FIGURA 4 – PRODUÇÃO DE ENERGIA DESCENTRALIZADA

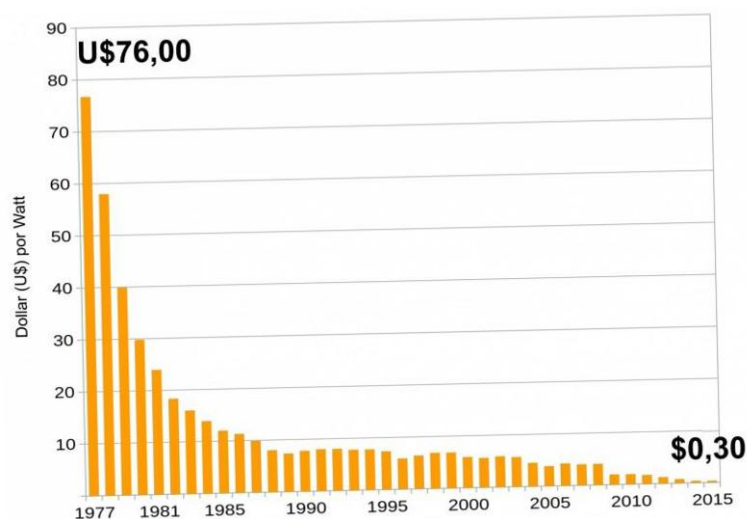


FONTE: DYA (2013).

3.3.2 Preço da energia fotovoltaica

Apesar de não figurar na primeira posição de energia solar, a Alemanha é a maior produtora de energia fotovoltaica, sendo que esta é responsável por 6% do seu consumo energético. O GRÁFICO 1 logo abaixo mostra a evolução do preço da energia fotovoltaica desde 1977 até 2015. No primeiro ano do corte ela custava 76 dólares por Watt e em 2015 chegou a 0,30 dólares por Watt, uma boa queda, embora novos entrantes no mercado nos últimos anos possa fazer com que este preço caia ainda mais.

GRÁFICO 1 – EVOLUÇÃO DO PREÇO DA ENERGIA SOLAR



FONTE: América do Sol/Ideal (2016)

3.3.3 Eficiência dos painéis fotovoltaicos

Quanto á eficiência, a maior parte do mercado de painéis fica entre 15% e 17%. Essa eficiência mede a habilidade de um painel em converter luz do Sol em energia elétrica, então com a mesma quantidade de luz do Sol, por um mesmo período e com painéis do mesmo tamanho, um painel mais eficiente produzirá mais energia do que um painel menos eficiente, em termos de kWh. Portanto, um painel com maior eficiência permite uma economia melhor na conta de luz, ou mais energia guardada nas baterias solares ou mais créditos por energia vendida à rede, mas também é mais caro do que um menos eficiente, obviamente. A empresa SunPower, de San Jose, estado da Califórnia, Estados Unidos é, conhecidamente, a que tem o painel mais eficiente, chegando a 22,5%.

A eficiência é especialmente importante em localidades nos quais os tributos sobre a energia são mais caros e onde há ausência de cobrança se o consumo atingir um limite máximo. Além disso, se a propriedade for menor em termos de área, uma eficiência maior será muito bem vinda. Prédios com muitos andares podem aproveitar disso: com mais moradores ou mais escritórios concentrados na mesma área, podem mais facilmente pagar por painéis mais eficientes e compensar o fato de que a área de incidência seja menor, já que estão todos “um em cima do outro”. O gráfico abaixo, de autoria da Energy Sage faz uma comparação da eficiência de painéis solares no mercado dos Estados Unidos, mostrando o *range* de eficiência dos painéis por fabricante.

GRÁFICO 2 – EFICÊNCIA DOS PAINÉIS SOLARES POR MARCA



FONTE: EnergySage (2016)

Uma das formas de uso da energia fotovoltaica mais interessante é a utilização desta para alimentar aparelhos portáteis e autônomos, inclusive robôs, que assim não necessitariam parar para recarregar. Esses usos alternativos interessantes estão descritos na seção “Outros Usos”.

3.3.4 Inversores solares

Um inversor de energia é responsável por converter baixas tensões de energia contínua em alta tensão alternada, para que o sistema possa operar com correntes que variam ao invés uma corrente contínua, no caso da energia solar, os inversores são por vezes chamados de “cérebros do projeto”. Eles também podem ter a função de carregar baterias, uma opção em um sistema fotovoltaico. A maior parte dos eletrônicos e outros aparelhos que usamos trabalha com corrente alternada, enquanto a energia que vem dos painéis solares é de corrente contínua, o que faz razão ao uso de um inversor, que é a ponte entre os painéis e os aparelhos eletrônicos. Os inversores são como aqueles adaptadores que comumente vem junto com carregadores/alimentadores de aparelhos como *notebook*, já que as bateria trabalham com corrente contínua. Eles também garantem a segurança do sistema, verificando se a rede estiver sem energia e limita a voltagem para evitar grandes oscilações. Se a rede estiver sem energia (faltar luz na rua/bairro, o inversor desliga o sistema fotovoltaico, para evitar que alguém que esteja fazendo reparos leve um choque. Existem alguns tipos de inversores: de onda quadrada, de onda senoidal modificado, de onda senoidal pura, para conexão á rede, inversor/carregador, inversor com ou sem transformador e com ou sem duplo rastreamento, o que vai depender das escolhas de conectar o sistema fotovoltaico à rede ou não e de usar baterias solares ou não. Os mais usados são os do tipo *grid-tie*, conectados à rede. Os inversores *off-grid* são usados para lugares desconectados da rede, ou seja, com baterias.

Em residências, os inversores são geralmente instalados perto do quadro de luz, enquanto para estabelecimentos industriais, comerciais, devido ao tamanho do inversor, é costumeiro ter uma sala exclusiva para o mesmo. Quanto mais energia produzida, maior será o inversor instalado, que são medidos por quilowatt (kW), portanto a instalação deve estar de acordo com a capacidade dos painéis e as pretensões de expansão. Porém, é possível ter até 15% mais potência de energia de painéis solares do que de inversor, pois os painéis nunca chegam ao seu máximo de produção energética por perdas. O contrário não é muito recomendável: maior

capacidade de inversores do que de painéis fará com que o sistema não funcione muito bem. Além do trabalho de inversão, que os dá o nome, eles podem ser utilizados para gravar dados sobre a produção de energia, algo bem útil para controlar o benefício da instalação, sendo que alguns modelos oferecem conexão com computador, para aquelas pessoas que gostam de fazer análises mais profundas dos dados.

Os melhores inversores são os que não possuem transformador, além de uma melhor conversão das correntes, aquece menos (talvez seja a razão ou a consequência da melhor eficiência), sendo ótimos para ambientes fechados, entretanto, algumas distribuidoras exigem o modelo com transformador, senão não será possível vender energia para a rede. À semelhança do painel, a eficiência de um inversor é medida em termos de porcentagem de sua conversão de corrente contínua para alternada. O mínimo que se deve aceitar é uma eficiência de 94%.

Uma grande variável no sistema fotovoltaico vai ser quanto ao uso de faces do telhado, por que se usar mais do que uma face, será necessário o uso de um inversor solar com duplo rastreamento. Como isso também influencia na decisão de quantos painéis solares instalar, os fabricantes de inversores desenvolveram os micro inversores. Cada micro inversor consegue atender apenas um painel, mas isso permite o controle independente deles. Vale lembrar que os inversores são certificados pelo Inmetro, sendo uma boa ideia conferir com o órgão antes de comprar um.

3.3.5 Baterias solares

As baterias solares são um opcional para painéis solares e servem para se desligar da rede elétrica, suprir uma necessidade em caso de queda da energia e/ou postes ou reduzir o consumo num horário de pico. Infelizmente, este é um opcional ainda de alto custo. As baterias solares são meramente baterias com algumas características que permitam um melhor armazenamento de energia fotovoltaica, mas a grosso modo, pouco diferem de outros tipos de bateria. Elas passaram a ter maior destaque depois que a Tesla, uma empresa que aproveita bastante a publicidade,

anunciou o lançamento de sua linha de baterias solares, com 10 anos de garantia. LG, Samsung e BYD logo acompanharam e anunciaram os seus próprios modelos. A principal vantagem da instalação de uma bateria solar é não ficar a mercê dos custos de impostos que vêm junto com a conta de luz, afinal se uma pessoa está produzindo energia para ela mesma, não há incidência de tributos. Existem as opções *off-grid* e híbrida. A *off-grid* infelizmente fica em torno de R\$65.000,00. Além disto, a propriedade fica vulnerável: se houver algum problema com os painéis ou qualquer componente fotovoltaico, ficará sem luz.

No sistema híbrido o diferencial vai ser que o excedente de energia produzido será armazenado até a capacidade das baterias e apenas depois disso será vendido para a rede. Com a instalação da bateria, o proprietário vai ter 3 opções com a energia produzida: consumir com algum aparelho, vender para a rede para gerar créditos ou armazenar na bateria para posterior uso. Os tipos de bateria solar disponíveis são: Bateria Solar de Chumbo-Ácido, Bateria Solar de Íon de Lítio, Bateria Solar de Fluxo e Bateria Solar de Níquel Sódio. A de Chumbo-Ácido é mais clássica, as de Íon de Lítio são as que mais estão ganhando espaço, especialmente com o modelo da Tesla, a de Fluxo está crescendo em um nicho e as de Níquel Sódio são a novidade do mercado, mas ainda estão em fase de testes. Esta última utiliza materiais de baixo custo, o que pode levar a uma redução do custo no setor em breve. Uma das empresas que estão pesquisando é a Itaipu Binacional.

O especial da bateria solar é que se for pensar em uma residência comum, a maior parte da energia (cerca de 70% segundo o Portal Solar) é consumida durante o final da tarde e de noite, o que faz sentido, já que na parte da manhã há a luz do sol e as pessoas estão fora trabalhando e estudando. A simples instalação de um painel solar sem a bateria vai fazer com que a maior parte da energia seja produzida justamente quando as pessoas não estão consumindo, assim que a bateria seria de grande ajuda e economia. Em uma residência de consumo médio diário de 16 kWh/dia, 11,2 kWh (70%) seriam consumidos durante a noite, portanto seria necessária uma capacidade de armazenamento pelo menos igual a este valor. Mas, o mais adequado é

um sistema de energia solar normal, que venda a energia para a rede gerando crédito, devido aos altos custos das baterias.

3.3.6 Painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos possuem garantia de potência de 25 anos a 80% da sua potência. Um importante dado a ser levado em conta quando adquirir um painel é a tolerância de potência, que é a faixa de produção de energia que o painel irá alcançar. Outro que não pode ser deixado de lado também é o coeficiente de temperatura, que mede como ele opera em temperaturas “altas” (maiores que 25 graus), sendo que o aceitável é entre 0,4% e 0,5%, qualquer coisa abaixo disso é melhor e qualquer coisa acima não é aconselhável, especialmente em cidades mais quentes. Os painéis devem ter passado pelo teste do Inmetro e pelo International Electrotechnical Commission (IEC) 61215. O do Inmetro para garantir uma assistência no Brasil e o IEC 61215 por ser o melhor teste a nível mundial, que garante a confiabilidade do produto.

No Brasil, os painéis devem ser preferencialmente, voltados para o norte, já que o sol passa de leste para oeste e se inclina ao norte (já que estamos no hemisfério sul). Mas, claro a direção do telhado da residência e a presença de sombras devem ser levadas em conta. Quanto à inclinação, o ideal é que o ângulo seja igual ao da latitude do local. A latitude de Curitiba é 25 graus, portanto o painel deve ficar preferencialmente inclinado 25 graus e voltado para o norte. Faces voltadas para nordeste e noroeste perdem entre 3% e 8%; leste ou oeste, entre 12% e 20%. Voltar os painéis para o sul só valem a pena na região norte do país, quanto mais ao norte melhor, principalmente depois da linha do Equador. Se não for possível obter a inclinação ideal para a latitude, quanto menor a inclinação melhor.

3.4 OUTROS USOS

Outros usos para a energia solar incluem: lagoas de evaporação (técnica muito antiga para obter sal marinho), varais de roupa (usam a energia solar para que as roupas fiquem secas), destilação solar (uma forma de tratar a água de um jeito mais caseiro) e outros mais ou menos tecnológicos.

3.4.1 Agricultura

Um campo que muito usa do aproveitamento da luz solar é uma das tecnologias mais importantes da história da humanidade: a agricultura. Dentro dela, existem diversas técnicas para melhor aproveitar a luz solar para crescer as plantas de forma ótima, uma delas sendo a Espaldeira, muito utilizada durante a Pequena Idade do Gelo para ampliar a captura de energia, e outra, mais conhecida do grande público, as estufas, que permitem produzir algumas culturas durante todo o ano.

3.4.2 Aviões solares

No campo dos transportes, o primeiro avião solar foi construído em 1974. Um avião solar é um avião com painéis solares (células fotovoltaicas) nas suas asas, permitindo autonomia de voo, ao recarregar suas baterias com a luz solar. O nome do primeiro avião solar é AstroFlight Sunrise, que não era pilotado e fez 28 voos antes de ser destruído em uma turbulência. Ele não possuía baterias, então voava apenas durante o dia, e também era feito para consumir o mínimo de energia possível. As células usadas pelo avião chegavam só até 10% de eficiência, sendo que naquela época já existiam células que chegavam a 17%.

FIGURA 5 – ASTROFLIGHT SUNRISE



FONTE: Boucher, Robert J. (1985)

Quatro anos após o AstroFlight Sunrise, veio o Mauro Solar Riser, o primeiro avião solar com passageiro (no caso, também piloto). Ele possuía baterias que demoravam uma hora e meia para carregarem e permitiam então um voo de 3 a 5 minutos. Ele era incapaz de recarregar durante o voo, por essa razão ele fazia vôos curtos e então ficava bastante tempo no chão carregando. À semelhança de seu sucessor, ele não usava as melhores células fotovoltaicas disponíveis na época. Havia planos para uma atualização, mas nunca foram concretizados. Ele chegou a uma altura de 12 metros e foi levado a um museu.

FIGURA 6 – MAURO SOLAR RISER



FONTE: Light Sport Aircraft (2010)

Em 1980 voou pela primeira vez o MacCready Solar Challenger, que era uma versão atualizada do Gosamer Penguin (que também era uma versão de outra aeronave, a Gossamer Albatross). Foi o primeiro avião solar com capacidade de voar longas distâncias, sendo que em 1981 voou 262 km, atravessando o canal da Mancha. O avião foi patrocinado pela empresa química DuPont para divulgar os seus produtos que foram usados no avião e a AstroFlight Inc, empresa que construiu o primeiro avião solar, forneceu os motores e os painéis fotovoltaicos.

3.4.2.1 Solar Impulse

Outro avião solar patrocinado por empresas divulgando seus produtos é o Solar Impulse, primeiro avião solar a dar a volta no globo, custando 170 milhões de dólares. O artefato é capaz de decolar usando a energia captada pelas células fotovoltaicas e permanecer no ar por 36 horas sem pausas. Ele conseguiu, inclusive, voar por 9 horas durante a noite com suas baterias solares. Com espaço para um piloto, o Solar Impulse

iniciou sua jornada a partir de Abu Dhabi, que também seria o ponto de retorno. Ao atravessar o pacífico do Japão até o Havaí, as baterias sofreram danos fortes que o impediram de continuar por alguns meses. Devido a isso, ele demorou 16 meses para completar a volta, sendo que o previsto eram cerca de 5 meses. Além do financiamento do governo suíço, o projeto recebeu apoio e dinheiro de diversas empresas incluindo: Solvay, Schindler, ABBe Omega SA. A SunPower, empresa que possui os painéis solares de maior eficiência no mercado, forneceu as células fotovoltaicas para o avião. Pesando menos que um automóvel modelo SUV, chegou a 1700 metros de altura e atingia velocidade de 100 km/h, mas com velocidade reduzida pela metade durante a noite para melhor aproveitar a bateria. O projeto abriu portas para o desenvolvimento de equipamentos que possam voar em altitudes maiores e fazer algumas tarefas impossíveis para satélites.

3.4.3 Carros solares

Já no ambiente terrestre, os carros solares já são bem difundidos por empresas de tecnologia, universidades e laboratórios ao redor do mundo, embora com pouca aplicação na indústria automobilística comum. Já existem inclusive, corridas de carros solares, como o “Desafio Solar Mundial”, que ocorre na Austrália, com diversos modelos de carros solares. Assim como a competição Fórmula 1 estimula que novas tecnologias surjam para os veículos de passeio, as corridas de carros solares incentivam pesquisas no setor, alimentadas pelo espírito de competitividade. Para vencer a corrida, não basta apenas pisar mais fundo no acelerador ou ter um motor mais potente: é preciso estudar as reservas das baterias solares e a irradiação solar no momento do dia para determinar a velocidade mais adequada. Além disso, é preciso células fotovoltaicas com boa capacidade e um bom direcionamento dos painéis afim de maximizar a captura solar para conseguir um melhor desempenho na corrida. A equipe com maior número de títulos do Desafio é a TU Delft (Universidade Técnica de Delft), da Holanda.

O primeiro carro solar do mundo foi o Quiet Achiever, promovido por Hans Tholstrup e ironicamente patrocinado por uma empresa de petróleo. Hans também foi o idealizador do “Desafio Solar Mundial”. Construído pelos irmãos Perkins, o carro fez a sua primeira viagem em dezembro de 1982, movido somente a energia solar e custou 15.000 dólares, com uma velocidade média de 30 km/h. Hans teve a ideia deste carro ao reparar que tinha passado sua vida usando carros, barcos e aviões movidos a combustíveis fósseis e queria fazer algo que reparasse isso. Em entrevista recente, notou como os carros conseguem atingir velocidades iguais a que ele atingia com o Quiet Achiever usando painéis duas vezes menores.

FIGURA 7 – QUIET ACHIEVER



FONTE: Museu Nacional da Australia (Ano desconhecido)

Sendo que nem a tecnologia de carros elétricos está completamente implementada, os carros solares ainda são bastante futuristas e, na tentativa de melhorar a captura de energia, pecam no design, basta notar o Nuna 8, carro mais bem sucedido do Desafio Solar Mundial, na FIGURA 8. Enquanto o Nuna 8 vence os desafios, seu concorrente Xof1 é o carro solar que detém o recorde de maior distância

pecorrida e, impressionantemente, foi construído por apenas um homem. O modelo CUER, da universidade de Cambridge é o que possui o melhor sistema de painéis solares, que se movem para conseguir a melhor captação da energia solar possível. O FORD C-Max Solar Energi é um dos modelos que mais se aproxima de um veículo de passeio normal e também chama a atenção por ser de uma montadora mais conhecida, e não de uma equipe de uma universidade. O modelo Stella Lux é o conceito para carro de família, com espaço para 4 pessoas e se destaca pela sua capacidade de captação de energia: produz mais do que consome, podendo até recarregar outros eletrônicos.

FIGURA 8 – NUNA 8



FONTE: DiStasio, Cat (2015)

FIGURA 9 – FORD C-MAX SOLAR ENERGI



FONTE: Gouvêa, Conrado (2018)

3.4.4 Estacionamento solar

Estando os carros solares um pouco distantes do dia a dia dos consumidores comuns, outras tecnologias aparecem no mercado usando os painéis solares de outras formas. No Rio Grande do Norte uma fábrica de sorvete e água mineral, a SterBom, possui um “estacionamento solar” composto de 1134 painéis fotovoltaicos. Além de gerar energia, a cobertura com os painéis faz com que o automóveis não fiquem embaixo do sol, deixando a temperatura dentro dos mesmo mais agradável e os preservando. Já a empresa mineira CSEM Brasil desenvolveu painéis solares orgânicos para criar um estacionamento que carrega os carros elétricos, que devem conquistar o mercado automobilístico antes dos carros solares. O estacionamento da companhia é portátil e unitário e por isso a empresa enxerga um futuro no qual os consumidores comprariam o próprio estacionamento solar em lojas de departamento.

3.4.5 Estrada solar

Se não bastassem aviões solares, carros solares, estacionamentos solares, uma vila na Normandia, região da França, construiu a primeira estrada solar, feita de 1 km de painéis fotovoltaicos não chão, ou asfalto. O objetivo é garantir a iluminação pública da via através da energia gerada e realizar estudos para futuras estradas solares. Algumas desvantagens foram encontradas porém: os painéis têm que ser mais resistentes do que os normais, para aguentar o peso dos veículos passando em cima e, por estarem retos no chão, sem inclinação, os painéis produzem menos do que os que são instalados em telhados, além de não acompanharem a luz solar durante o dia (o que também não é feito pelos painéis comuns a bem da verdade). A China, país que vem liderando o crescimento da energia solar, também construiu uma estrada solar, com o dobro de extensão da estrada francesa, localizada na cidade de Jinan. A estrada coberta de painéis fotovoltaicos com proteção é capaz de aguentar 10 vezes mais pressão do que uma estrada de asfalto comum. O objetivo de uso da energia gerada é usar na iluminação pública, derreter a neve na estrada e para futuros postos de abastecimento de carros elétricos. Assim como no caso da estrada francesa, a estrada solar chinesa foi criticada pelo seu elevado custo em relação a uma estrada normal.

FIGURA 10 – ESTRADA SOLAR EM JINAN



FONTE: Ayoub, Nadja (2018)

3.4.6 Ciclovias solar

Além de estradas, existem também ciclovias solares. A primeira foi construída na Holanda, em Amsterdã, cidade famosa por suas bicicletas. A ciclovias possui 7km de estação e foi inaugurada em 2014. Um ano depois, os estudos apontaram que ela estava produzindo mais energia do que o planejado, uma descoberta bem feliz. Uma outra opção, seria uma ciclovias coberta com painéis na cobertura para gerar energia, além de proteger os ciclistas da chuva e não precisar se preocupar com o atritos dos veículos passando por cima. Isso faria com que mais pessoas usassem as bicicletas, inclusive em dias chuvosos e geraria energia para iluminar a própria ciclovias durante a noite ou na saída do trabalho no inverno. Tal ciclovias ainda não existe no mundo.

3.4.7 Heliotérmica

A energia heliotérmica pode ser usada para outro fim além da produção de energia: provocar reações químicas sem o uso de combustíveis ou fornos. Alguns processos indústrias químicos precisam de muito calor para ocorrer, e o uso da energia heliotérmica pode ser uma alternativa ao uso de altos fornos, como na siderurgia.

4 CAPACIDADE DE ENERGIA SOLAR

4.1 NO MUNDO

Os últimos anos têm sido de boa expansão para a energia elétrica solar, impulsionado pela retomada econômica global e pela iminência de uma escassez dos outros recursos. Além desses dois motivos, é fácil ver que depender de apenas uma ou algumas poucas fontes de energia é pior do que ter um leque maior, e a distribuição dos combustíveis fósseis é irregular no planeta Terra, fazendo com que alguns países obtenham maior poder do que os outros por terem os recursos energéticos em seus territórios. Em 2016, o crescimento da energia solar no mundo foi de 33%, a fonte que mais cresceu nesse ano, e o Brasil, apesar de deficiências, dobrou a sua capacidade nesse mesmo ano. A maior parte dos investimentos em energia solar - mais do que a metade - vem sendo feita em energia fotovoltaica.

4.1.1 Energia heliotérmica

No que tange, a energia heliotérmica, esta teve seus primeiros usos nos anos 80, devido a crise do petróleo na década anterior, mas foi deixada de lado nas duas décadas seguintes. Apenas recentemente recebeu maior atenção, quando sua “prima” fotovoltaica despontou para o mundo. O país referência em energia heliotérmica é a Espanha, que concentrou 66% das instalações em 2012 e em 2017 ainda possuía mais da metade das instalações mundiais, acumulando 2300 MW, com os Estados Unidos em segundo lugar, país que possui também a maior usina heliotérmica do mundo em capacidade.

FIGURA 11 – USINA HELIOTÉRMICA NA ÁFRICA DO SUL



FONTE: Vidal, Ramón (2016)

4.1.2 Principais países

Entretanto, apenas 1,3% da energia produzida mundialmente vem de fonte solar. Os países em desenvolvimento são o destaque do crescimento, apesar de bem puxado pela China, que lidera o ranking dos países com 26% (78100 MW) das instalações solares. Além disso, foi o país que mais instalou capacidade em 2016, 34500 MW, ou 45,8% da capacidade instalada do mundo no mesmo ano. Uma das instalações solares mais curiosas se encontra no país milenar: uma fazenda flutuante de geração de energia solar, capaz de produzir 40 megawatts.

FIGURA 12 – USINA SOLAR FLUTUANTE NA CHINA



FONTE: Garfield, Leanna (2018)

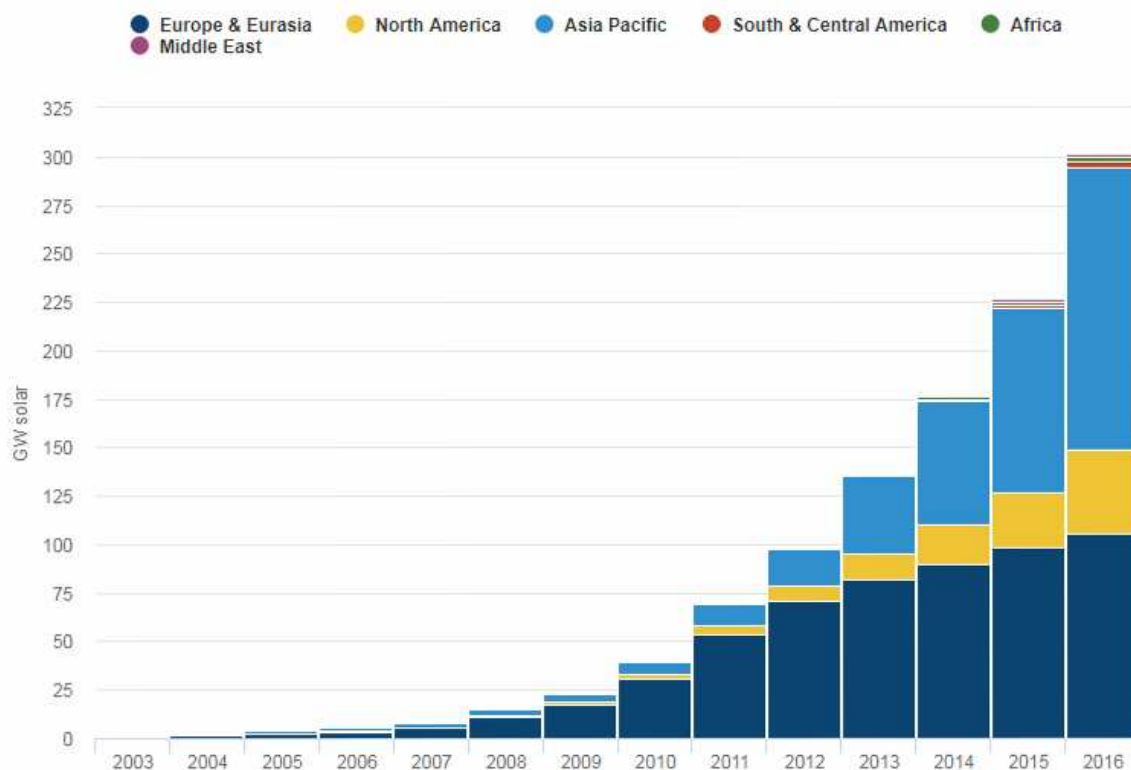
Japão (42800 MW) e Alemanha (41200 MW) vêm em segundo e terceiro respectivamente, ambos buscam substituir a energia nuclear, maior fonte energética desses países, sendo que o país germânico possui o maior nível de capacidade por pessoa (500 watts por cada). A Alemanha elaborou um ambicioso plano para desligar todas as suas usinas nucleares até 2022 e o Japão deve seguir o mesmo caminho, após o desastre da usina de Fukushima em 2011. Havia um temor que a conta de luz dos japoneses iria aumentar exponencialmente com o desligamento das usinas, mas o governo conseguiu contornar o problema através de incentivos e um replanejamento do mercado elétrico japonês. Estados Unidos (40300 MW) e Itália (19330 MW) completam o top 5 do ranking. Os americanos, apesar de serem pioneiros, não despontaram na energia solar, foi apenas recentemente que o país retomou um bom investimento na área e conseguiu que 10% da sua energia viesse de fonte solar. Os investimentos estadunidenses fizeram com que o setor de energia crescesse, e agora já emprega duas vezes mais pessoas do que a indústria do carvão, um combustível fóssil, no país. Já os italianos alcançaram 7,8% e podem ser considerados uma

surpresa no *ranking*, já que poucos sabem que o país vem batendo suas metas de produção de energia sustentável. E o país também se destaca em usos alternativos da energia solar, por exemplo o uso de drones solares.

4.1.3 Regiões do globo

As instalações japonesas e chinesas fizeram com que a Ásia desbancasse a Europa em questão de novas instalações. Cerca de 98% da capacidade de produção no mundo foi instalada após 2004, o que mostra que os investimentos se concentram bastante nos últimos anos. Brasil, Chile, Jordânia, México e Paquistão dobraram as suas capacidades em 2016, mostrando que apesar dos destaques mencionados acima, a energia solar está sendo difundida em boa parte do globo terrestre. O GRÁFICO 3 mostra a evolução nas instalações de capacidade de 2003 até 2016. Historicamente, a Europa dominou as novas instalações, sendo passada pela Ásia com seu crescimento no Japão e na China. Os Estados Unidos saiu um pouco para trás, mas vem recuperando nos últimos anos, impulsionando o desempenho da América do Norte. As Américas do Sul e Central aparecem nitidamente apenas no ano de 2016, que pode ser considerado um marco na história da energia solar sul-americana. Vale ressaltar que em 2017 houve importantes instalações no sul do país, que ainda não aparecem neste gráfico. A África também pode ser observada na última barra do gráfico, enquanto o Oriente Médio, ironicamente um dos lugares com maior irradiação solar no mundo, possui capacidade instalada quase que irrelevante.

GRÁFICO 3 – CAPACIDADE SOLAR POR REGIÃO

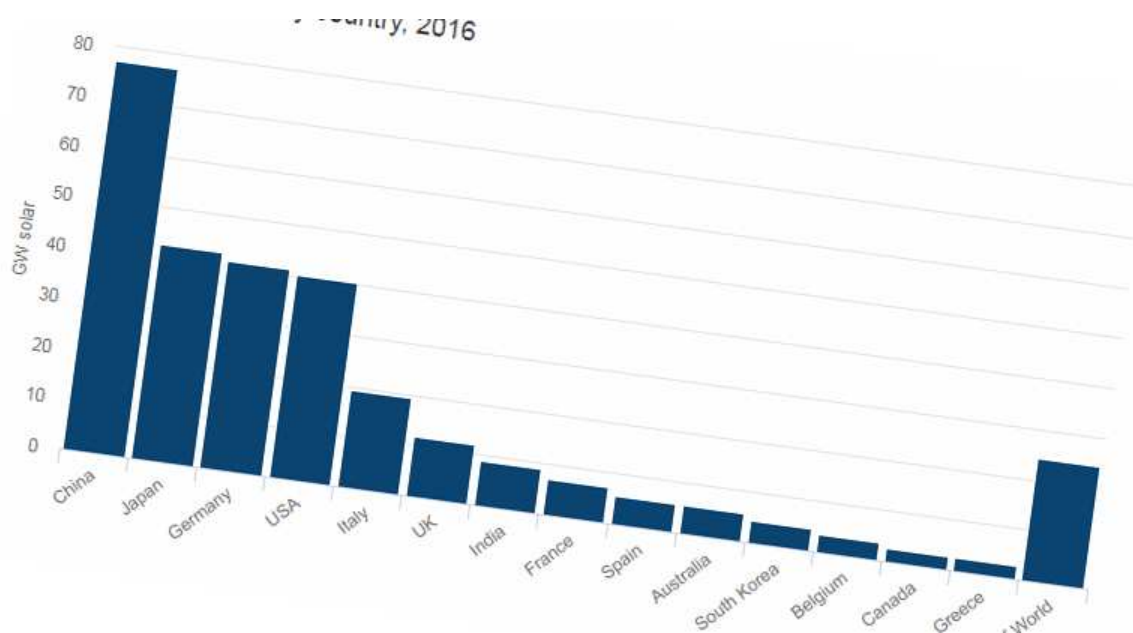


FONTE: Carbon Brief (2017)

No GRÁFICO 4 é possível visualizar a capacidade por país e a dominação de Ásia e Europa. Já em questão de capacidade por pessoa, o mapa na FIGURA 13 mostra a dominação de Itália e Alemanha e a boa performance do Oeste europeu como um todo. O bom desempenho de Itália e Grécia explica porque estes dois países pouco cresceram em questão de capacidade instalada recentemente. Outro país com bom desempenho que ainda não foi mencionado é a Austrália, que passa um pouco de 200 Watts por pessoa. Apesar de estar atrás, boa parte dos países da América do Sul já começaram seus investimentos na energia solar, com exceção da Colômbia, do Paraguai e da Guiana. Os melhores desempenhos no continente pertencem a Chile, Guiana Francesa e Uruguai. Na América Central se destaca Honduras, enquanto que África e Oriente Médio apresentam desempenho fraco, a não ser por Israel. O fraco desempenho do Oriente Médio tem explicação: eles controlam boa parte das reservas de petróleo no mundo. Os investimentos em energia solar dos outros países pode

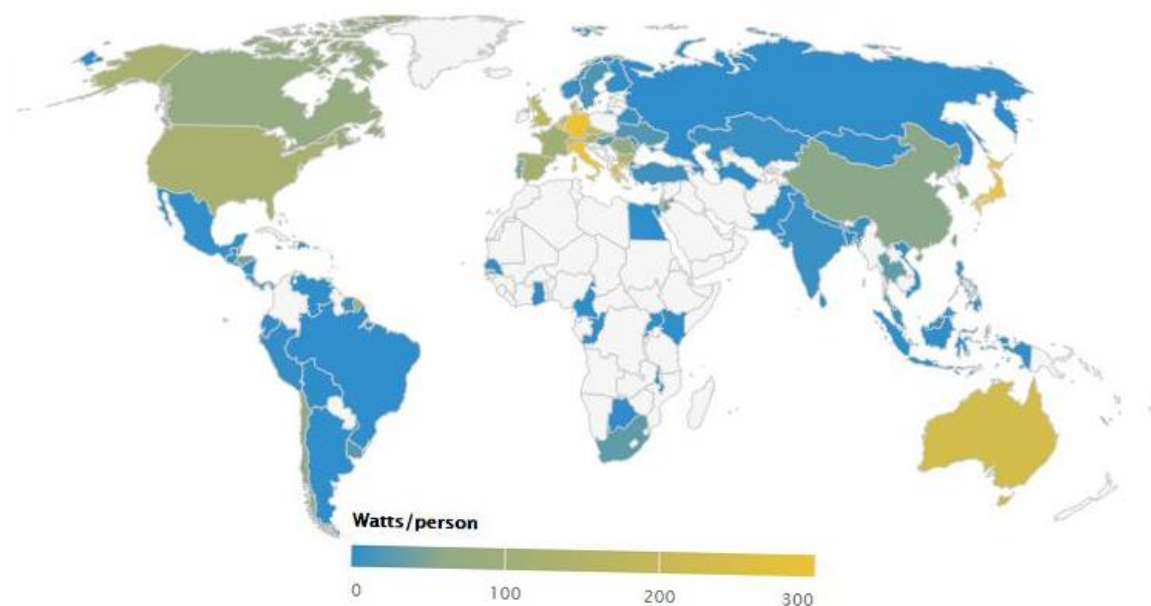
significar uma queda na força deles e, se eles quiserem, podem tirar petróleo do seu próprio quintal, não sendo tão necessária uma busca pelas energias renováveis. A Índia prepara uma grande expansão em sua matriz de energia solar nos próximos anos, resultado de uma melhora com a conexão da rede elétrica e pode impulsionar as instalações mundiais.

GRÁFICO 4 – CAPACIDADE SOLAR POR PAÍS



FONTE: Carbon Brief (2017)

FIGURA 13 – CAPACIDADE SOLAR POR PESSOA NO MUNDO



FONTE: Carbon Brief (2017)

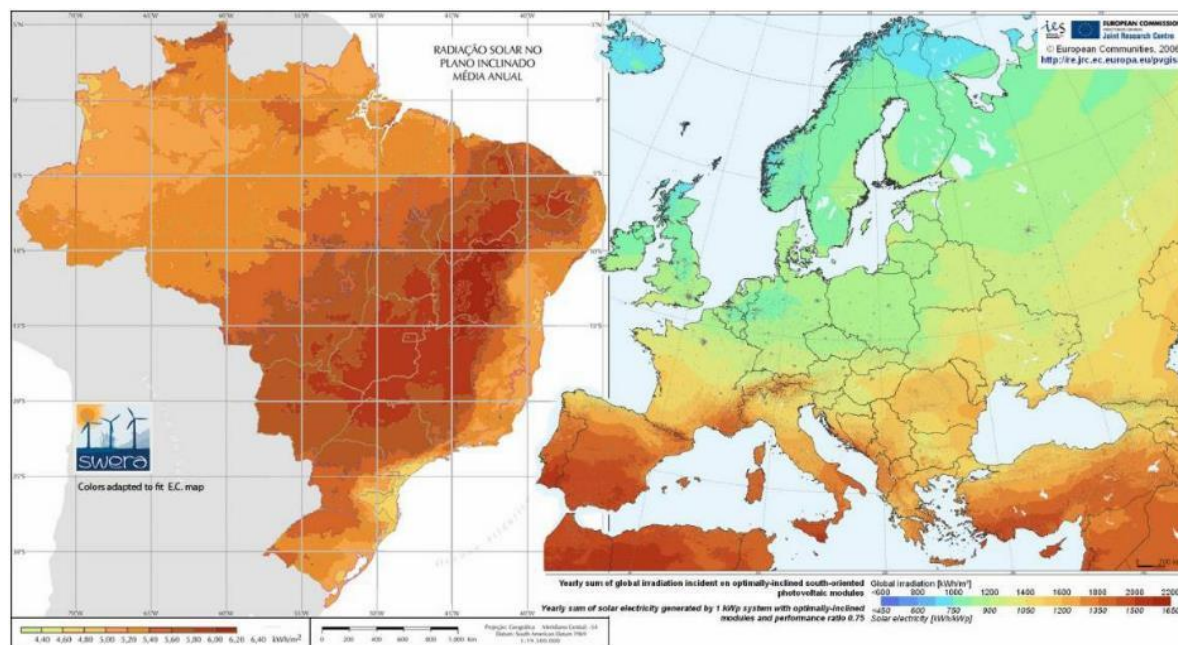
4.1.4 Potencial

Em termos de potencial do planeta, a Terra recebe 174 petawatts, sendo que parte desta energia é refletida para o espaço. A energia solar absorvida pelo mar e pela massa terrestre faz com que a temperatura terrestre aumente, tanto que instalações solares podem diminuir a temperatura local, ajudando a combater o aquecimento solar. O potencial da energia solar é diferente nas diversas regiões do planeta, embora seja melhor distribuído do que as reservas de combustíveis fósseis como o carvão e o petróleo. Desertos e oceanos podem ser especialmente usados para a geração de energia solar, e regiões mais próximas à linha do equador possuem maior potencial.

4.2 NO BRASIL

O Brasil é um país que possui um enorme potencial energético de diversas formas, e não é diferente no caso da energia solar. Engana-se quem acha que apenas o nordeste poderia aproveitar bem o uso desta forma de energia: todo o território nacional possui boa exposição à radiação solar, tanto para energia fotovoltaica, heliotérmica e aquecimento solar. No entanto este potencial no momento não passa apenas disto: um potencial. Apesar de nos últimos dois anos o país ter dobrado sua capacidade instalada, o Brasil ainda está muito abaixo dos principais países. Além de um fraco investimento em usinas, há pouca instalação de painéis fotovoltaicos e construções preparadas para aproveitar a luz solar. Como já mencionado na introdução, o grande vilão da energia solar brasileiro é o ambiente político, que pouco incentiva esta forma de energia, tanto que a maior usina solar do sul do país é um supermercado. Segundo os dados da Aneel sobre a matriz energética brasileira, atualizados em 03/04/2018, a energia solar corresponde por 0,71% da energia produzida no Brasil, com 91 centrais geradoras. O site não menciona a energia heliotérmica. Dos empreendimentos em construção, 7,37% da futura potência é de energia solar e 32,63% é de energia eólica, a maior representatividade da lista. O que mostra que em termos de energia solar o país está engatinhando. Os mapas abaixo comparam a irradiação solar do Brasil com a Europa. É notável que o Brasil possui maior potencial, mas ainda assim, a Europa produz mais energia solar que país sul americano.

FIGURA 14 – COMPARAÇÃO IRRADIAÇÃO BRASIL X EUROPA



FONTE: LabSol (2015)

O cenário, felizmente, está mudando. No ano de 2014 o país passou a fazer o leilão de energia solar, assim como já ocorria com outras formas de energia solar, o que contribuiu um pouco e ainda pode contribuir mais para a queda no preço da energia solar. Se o país investisse mais no setor, poderia gerar empregos e tecnologia aqui, além de evitar ter que inundar áreas para hidroelétricas, comprar ou extrair combustíveis e fósseis e também poderia evitar diversos problemas decorrentes da poluição. O interesse popular no tema se deve as secas o país, crises no investimento elétrico e sucessivos aumentos no preço da energia. O estado que mais instalou painéis solares em 2015 foi Minas Gerais, seguido de Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, São Paulo e Ceará. O Brasil recebe mais irradiação solar do que os países líderes mundiais no setor (Estados Unidos, China, Alemanha, Japão e Itália).

4.2.1 Perfil dos interessados pela energia solar no Brasil

Numa pesquisa feita pelo Portal Solar, foi descoberto que 80% das pessoas que pedem orçamentos solares são homens, 60% possuem entre 31 e 50 anos e 45% pagam entre 200 e 600 reais por mês de conta de luz. Esses dados permitem uma interpretação que homens chefes de família de classe média alta são a maior parcela do mercado solar no Brasil, buscando uma independência que ajude no bolso. 85% das pessoas não possuíam aquecedor solar e a mesma porcentagem são proprietários do imóvel. O aquecimento solar, apesar de mais simples, não motiva tanto quanto os painéis solares, talvez por serem mais tecnológicos e existir algum preconceito com o aquecedor solar, que é algo que possa ser visto como mais “rural”. 80% são imóveis já construídos, 75% são residenciais e 65% são sistemas entre 2 e 5 kWp de potência. Obviamente, existem mais imóveis já construídos do que em construção, por isso a diferença, o fato de serem residenciais mostra o espírito libertador da energia solar, a busca por se ver livre das contas e a potência está dentro do esperado para uma residência.

4.2.2 Distribuição da irradiação no território nacional

As regiões mais propícias para a energia solar no Brasil são o Nordeste e o Centro do país, além de Boa Vista. A região com menor potencial está no litoral dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Porto Alegre. A radiação solar diária é medida em kWh/m² e é bem distribuída pelo território nacional, apesar dos diferentes climas sendo que a maior radiação (6,5 kWh/m²) acontece no semiárido do Nordeste e a menor no Sudeste (4,35 kWh/m²), o que difere um pouco do senso comum de que o sul seria a região com menor irradiação, e quanto às variações de irradiação entre as estações, essas são maiores no Norte e menores no Sul. Contrário ao senso comum, a região Norte recebe menos irradiação do que a região Sul durante o verão, isso ocorre devido às chuvas intensas nessa época do ano na região amazônica, bloqueando o sol, durante o inverno a situação é inversa. A média de irradiação solar no território fica entre 1500-2500 kWh/m² por dia, maior do que a boa parte dos países europeus, a média alemã, por exemplo, fica entre 900-1250 kWh/m².

4.2.3 Usinas brasileiras

A primeira usina de energia solar no Brasil é uma planta fotovoltaica localizada no Ceará, com capacidade de produzir 1 megawatt, e foi inaugurada em 2011. De 2014 até 2017, a maior usina solar do país foi a Usina Cidade Azul, que está localizada em Santa Catarina, com geração de 3 MW, também fotovoltaica, com capacidade de geração 4 MW com seus 19.424 painéis fabricados na Alemanha e no Japão em 10 hectares. Segundo os responsáveis pela implementação da usina, ela é apenas parte de uma pesquisa, para criar um modelo para as futuras usinas solares do Brasil. Diferentes tecnologias de painéis são usadas no país, por que estão ainda em teste. Os painéis diferem pois alguns são melhores para climas mais úmidos, outros para mais secos, alguns captam espectros mais azuis da luz solar, e outros mais vermelhos. O Brasil, sendo um país continental, vai precisar adaptar cada tecnologia para cada região ou clima, para perseguir uma produção ótima de energia. Atualmente, a maior usina é o Parque Solar Lapa, que na verdade combina 2 usinas e está localizado na Bahia, com a capacidade de produzir 80 MW na usina Bom Jesus da Lapa e 78 MW na usina Lapa. A localização deste parque, no município de Bom Jesus da Lapa foi um grande "achado": a cidade possui uma ótima irradiação solar, fraca vocação para agricultura e está perto das linhas de transmissão. Está composto de mais de 500 mil painéis, custou 175 milhões de dólares e gerou empregos em uma área semi-árida, com poucos recursos para agricultura e pouca vocação para turismo. Inclusive, o estado da Bahia tem alto potencial para liderar o país na energia solar, devido a forte irradiação, terrenos baratos, mão-de-obra barata e topografia. O estado é o que mais apresentou projetos de geração para o leilão da energia solar de 2017, com 160 projetos de 550. A dificuldade a ser superada pelo estado é a falta de linhas de transmissão, o que reforça a "sorte" que teve o parque solar da Lapa em encontrar a cidade de Bom Jesus da Lapa.

Outro gargalo, que não é exclusivo do estado da Bahia, é a falta de fabricantes nacionais de painéis solares. Os painéis vindos da China dominam o mercado, mesmo com o tributo de importação. Espera-se que com mais projetos de energia solares no

país incentive a entrada de novos fornecedores no mercado. A empresa AN Solar tem a intenção de instalar uma fábrica de inversores no país. A empresa Companhia Brasileira de Alumínio, da cidade de Alumínio-SP aproveitou a oportunidade da abertura de leilão de energia solar para reverter as perdas em outros setores fabricando *frames* para painéis solares, alimentando uma fábrica de painéis solares localizada em Sorocaba, no mesmo estado.

4.2.4 Energia heliotérmica no Brasil

A boa irradiação solar no Brasil, em especial na região nordeste, faz com que o país seja um bom território para a energia heliotérmica. Porém, só em 2012 foi anunciada a primeira usina heliotérmica do país, na cidade de Petrolina-PE, com um custo de 27,5 milhões de reais e capacidade de 1 MW. A usina tem caráter experimental, já que foi instalado um centro de pesquisas no mesmo lugar, para testar a tecnologia para futuras instalações no país.

Existe também o projeto SMILE que implanta duas energias heliotérmicas ligadas a outras atividades agroindustriais ao redor delas, uma em Pirassununga-SP e outra em Caiçara do Rio do Vento –RN. No projeto não consta o uso de armazenamento térmico, o que é uma grande pena, mostrando que o país não está investindo o que deveria na energia heliotérmica, porém elas possuirão a tecnologia de co-combustão.

4.2.5 Produção descentralizada de energia no país

De acordo com a ANEEL, uma micro geração de energia se caracteriza por ser de energia renovável e produção menor do que 100 kWp, ou seja, as produções por painéis solares nas residências se classificam nesta categoria. As primeiras regras da agência surgiram em 2012, mas foi em 2015 que a regulamentação ficou adequada e o

setor pôde florescer no país. As regras permitem gerar créditos quando a energia produzida é maior do que a consumida, o que é ótimo, já que a parte do dia que mais energia é produzida não coincide com a parte do dia de maior consumo de energia.

Os prosumidores (palavra gerada da união das palavras consumidores e produtores) são os agentes da geração distribuída, recebem os créditos após abaterem do próprio consumo. Não podem comercializar os seus créditos porém, portanto gerar energia demais não é um bom negócio para o prosumidor. Os seguintes estados decidiram não tributar a energia vendida para a rede: São Paulo, Pernambuco, Goiás, Ceará, Tocantins, Rio Grande do Norte, Mato Grosso, Bahia, Distrito Federal, Maranhão, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Roraima, Acre, Alagoas e Minas Gerais. Alguns municípios começaram também a deduzir o IPTU de residências com geração descentralizada. No gráfico abaixo retirado do site Astra Solar, é possível ver a evolução no número de conexões de geração distribuída. É notável o crescimento nos últimos anos, mesmo com um momento econômico desfavorável, o que reforça a ideia de economia com a instalação de um sistema solar. Do total de conexões (11.824), 11.702 são de energia fotovoltaica.

GRÁFICO 5 – NÚMERO DE CONEXÕES DE GD



FONTE: Desconhecida

A regulamentação brasileira permite o chamado “Autoconsumo remoto”, que consiste em gerar a energia em um imóvel/terreno e utilizar os créditos na conta de outro de mesma titularidade e localizado na área de uma mesma distribuidora (Copel, Light, AES Eletropaulo...). Com isso, uma pessoa que tem uma casa na praia por exemplo pode instalar um sistema lá e aproveitar os créditos na sua residência. Para diferentes titularidades, existe a possibilidade de montar um consórcio ou uma cooperativa. Todas as unidades devem estar na mesma distribuidora, e várias pessoas podem se juntar para receber os créditos de uma usina fotovoltaica específica.

4.3 NA ALEMANHA

Apesar da China ser o país com maior produção de energia solar no mundo, a Alemanha é o país com maior produção per capita. Tendo em conta o tamanho territorial dos dois países, o país germânico merece maior destaque, incluindo também o fato de ter um plano para desligar as suas usinas nucleares. Em 11 anos, o país aumentou a sua produção de energia solar em 300 vezes, e desde 2000 é possível vender o excedente de produção de energia fotovoltaica para a rede. Um grandioso fato para um país que antigamente provocou uma guerra mundial por causa do controle de uma região com bastante depósitos de carvão e que a menos de trinta anos atrás estava dividido em dois.

Quando da sua unificação, a parte oriental da Alemanha era abastecida principalmente por usinas termoelétricas, usando carvão como combustível. Hoje em dia, essas usinas estão chegando ao final de sua vida útil e não estão sendo renovadas pelo governo alemão, apesar de ainda restar um bom depósito de carvão perto da fronteira com a Polônia. A parte ocidental, mais desenvolvida, apostava na energia nuclear, que ainda corresponde por um terço da energia produzida no país, mas que deve seguir o mesmo caminho das usinas de carvão. A política da *Energiewende* (transição energética) é totalmente desfavorável aos combustíveis fósseis e ao uso da energia nuclear, esta última considerada perigosa, principalmente após o acidente de Fukushima.

As usinas nucleares antigas não têm suas permissões renovadas. O governo alemão alega que não há solução para o lixo nuclear, que os custos são altos e que o risco de acidentes é alto. Para preencher o espaço que vem sendo deixado pelas usinas nucleares, o país escolheu as energias renováveis e principalmente, a energia solar. Com objetivo de chegar a 80% de energia renovável, o país estava em 2017 em 30%. A estratégia alemã para a *Wende* possui os seguintes detalhes: aumentar a conta de energia para tornar viável as energias alternativas e renováveis, abrir o setor energético para atrair pequenos e médios empresários interessados e permitir a produção descentralizada e finalizando o tripé, as usinas de combustíveis fósseis só serão ligadas se a geração renovável não for suficiente. Este último critério é usado no Brasil: quando os reservatórios das usinas hidrelétricas está baixo, o governo autoriza

ligar as usinas termoeletricas, que são inclusive mais caras, aumentando a tarifa energética, as conhecidas “bandeiras”.

4.3.1 Sobretaxa e incentivos

A sobretaxa alemã parece ir contra os consumidores, mas o país tem a melhor taxa de adimplência na união europeia e ela deve acompanhar o preço das energias renováveis: que vem em queda faz alguns anos, principalmente a fotovoltaica. O bom desempenho alemão fica ainda mais louvável quando se descobre que as regiões que menos recebem luz solar no Brasil recebem mais do que a Alemanha. Contudo, o país germânico não está indo muito bem em termos de aquecimento doméstico no inverno (que consome gás natural) e no desligamento das usinas de carvão, que ainda contribui com 40% da energia gerada no país.

FIGURA 15 – BAIRRO SCHLIERBER NA ALEMANHA



FONTE: CicloVivo (2016)

Existe na Alemanha um bairro chamado Schlierberg, que consegue produzir quatro vezes mais energia do que consome. Mais um condomínio do que um bairro, as residências do local foram construídas de modo que uma parte do telhado fosse totalmente revestida de painéis solares, já voltados para a direção correta e com inclinação adequada. Além do uso da energia fotovoltaica já planejado na concepção das casas, o arquiteto Rolf Disch utilizou também técnicas de energia solar passiva para reduzir o consumo para atingir melhores resultados.

Mais que uma questão de incentivos governamentais ou inspiração de arquitetos fantásticos, a Energiewende é movida pela população alemã, sendo então uma questão de consciência educação. Mais de 65% dos geradores de energia no país são de indivíduos ou comunidades, não de empresas ou do governo. No dia 8 de Maio de 2016, o país bateu um importante recorde: 95% da energia consumida no dia veio de fontes renováveis, 45,2% de energia solar, sendo que por algumas horas os prosumidores mais ganharam do que gastaram com energia.

A alemã SMA Solar Technology AG é a maior empresa de painéis na Europa. Os prédios do parlamento e da estação central de trens da capital também contam com os painéis, produzindo cerca de 50% de seus consumos energéticos.

4.4 NO PARANÁ E EM CURITIBA

O em Paraná foi, em 2015, o 4º estado que mais pediu orçamentos de energia solar no Portal Solar, porém não ficou nem entre os seis primeiros estados em instalações, apesar de ser o terceiro em número de empresas de energia solar ativas. Cerca de 0,03% dos consumidores do Paraná possuem painéis solares em suas residências, são cerca de 1,5 mil unidades geradoras. As regiões com maior potencial solar no estado são norte, noroeste e oeste, apesar de que Curitiba figura entre as cidades com mais unidades instaladas no estado, ao lado de Cascavel, Londrina e Maringá. Para os especialistas, o estado ainda possui um potencial pouco explorado, assim como o Brasil como um todo.

4.4.1 Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná

Uma parceria formada por UTFPR, Inpe e a Itaipu criou o Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, um mapa que mostra a irradiação solar no estado, para fornecer dados para interessados em investir na energia fotovoltaica em suas propriedades. Se comparado com os estados do nordeste, o potencial solar paranaense parece fraco, mas ele é 43% superior ao da Alemanha, e tendo em vista tudo o que o país germânico alcançou neste campo, não é possível não dar atenção para a energia fotovoltaica.

Em 18/04/2018, a governadora em exercício Cida Borghetti assinou um projeto de lei que isenta o ICMS sobre a energia solar, um grande passo para a proliferação de prosumidores no estado. Em fevereiro do mesmo ano, houve uma discussão entre o então governador Beto Richa e empresários para a construção de 3 usinas fotovoltaicas no município de Palmeira, que fica entre Curitiba e Ponta Grossa., que custariam 8 milhões de dólares e gerariam 200 empregos diretos. Com capacidade de até 7,3 megawatts, a primeira das usinas visa atender exclusivamente as indústrias paranaenses.

4.4.2 Curitiba

É bastante conhecido, tanto pelos curitibanos quanto pelos outros brasileiros, o clima fechado e frio da cidade, com muitos dias nublados ou chuvosos, sendo que em 2013 a cidade teve menos dias de sol que Nova York, Londres, Berlim e Praga, cidades mundialmente conhecidas por seus climas nublados. No entanto, a capital paranaense tem potencial solar 39% maior do que a Alemanha, outro dado retirado do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná. Inclusive, contrário ao senso comum, Curitiba tem

potencial maior do que o litoral do seu estado, região com menor irradiação solar no Paraná, a cidade com maior irradiação fica no norte, Prado Ferreira.

Em 2016, um estudo divulgou algo totalmente inusitado: gerar energia solar em Curitiba era mais econômico do que na Bahia. Isso porque as condições climáticas de Curitiba são ideais para a operação dos sistemas solares, fazendo com que eles atinjam uma produção quase que ótima. Um sistema de quatro módulos seria capaz de produzir 1700 kw/h na Bahia e 1470 kw/h em Curitiba, mas como a tarifa de energia é consideravelmente maior em Curitiba do que no estado nordestino, o sistema permitiria uma economia maior na capital paranaense.

Uma *startup* de Curitiba montou um negócio de aluguel de painéis solares: pagando uma taxa fixa mensal e uma taxa de instalação, o consumidor consegue ter em seu telhados alguns painéis fotovoltaicos sem a necessidade de um grande investimento inicial. A rede curitibana de super e hipermercados, Condor, possui uma loja na capital paranaense que abriga a maior usina fotovoltaica do sul do Brasil, o investimento além de garantir uma economia para a empresa, gera uma visibilidade enorme para a mesma, em todo o país, além de estimular mais curitibanos a buscarem sobre os painéis.

5 ESTUDO DE VIABILIDADE

5.1 INTRODUÇÃO

Para determinar se irá realizar um investimento ou não, são usadas algumas ferramentas bastante conhecidas por pessoas da área financeira, como o *payback*, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR). Algumas outras podem ser usadas para sofisticar ainda mais a análise, porém essas definitivamente são as mais difundidas. Assim como no caso de decidir pela compra de um ativo financeiro, o VPL também pode ser usado para tomar uma decisão de substituição de um ativo imóvel, avaliação de um ativo intangível, decisão entre equipamentos e escolha de projetos. Usar essa ferramenta é indispensável, pois os recursos são escassos e para mudar de decisão no meio do caminho seria necessário muito dinheiro, muito esforço ou simplesmente seria impossível.

No caso de uma decisão de instalar painéis fotovoltaicos, existem duas opções mutuamente excludentes: colocar o sistema solar ou não colocar o sistema solar. Se for decidido colocar, tirar, vender e recuperar o dinheiro é uma tarefa de difícil conclusão. Para tomar a decisão é necessário saber qual seria o valor presente da economia na conta de luz, menos o valor gasto pelo projeto e comparar com as contas de luz sem o sistema solar.

5.2 PLANILHA

As empresa solares de Curitiba vendem apenas soluções completas, ou seja, possuem pouca informação sobre preços separados para painéis e inversores, vendem o projeto completo e pouco detalham sobre os custos. Nos orçamentos que passam para os clientes, a informação é simplista demais, exibem apenas o melhor cenário possível, com os painéis na melhor inclinação e com a melhor direção, o que pouco reflete a realidade. Apenas informam um número de painéis, um inversor e suas

respectivas marcas sem permitir uma melhor discussão com o cliente sobre os equipamentos mais ideais para cada caso.

Baseado nisso, para este trabalho foi elaborada uma planilha que ao ser preenchida com as informações chave, permite calcular o tamanho do sistema necessário baseado no consumo, a quantidade de painéis e o vpl da decisão. As informações chave são: consumo, número de faces no telhado, tamanho de cada face, desvio das faces em relação ao norte verdadeiro, inclinação das faces, tipo de conexão copel, irradiação solar, inflação de tarifa e opções de financiamento. Que além de permitir várias análises de sensibilidade para o responder a questão do presente trabalho também permitirá que qualquer pessoa leiga em energia solar possa calcular quanto realmente produziria com painéis solares em sua residência ou comércio e quanto economizaria, com uma precisão maior do que a de orçamentos apresentados por empresas solares. Nas próximas seções serão explicados todos os itens dessa planilha, detalhando as suas influência e importância na decisão sobre instalar um sistema solar.

5.2.1 Variáveis

5.2.1.1 Consumo

O consumo é a base dessa decisão financeira. Inclusive, é o único dado que as empresas solares pedem para realizar o primeiro orçamento. Na planilha são apresentadas duas opções: consumo médio e últimos consumos. Escolhendo “consumo médio”, a planilha assumirá que todos os meses apresentam o mesmo consumo, o que é pouco real, e escolhendo “últimos consumos” a planilha assumirá cada consumo para um mês, resultando num cálculo melhor dos créditos gerados a cada mês. Os cálculos realizados pela planilha não envolvem qualquer forma de redução ou aumento de consumo, pois isso interferiria na precisão do estudo, os dados

seriam enviesados por um comportamento do consumidor ao invés da instalação do sistema solar. É o consumo que vai determinar quanto deverá ser produzido de energia, e por consequência o número de painéis necessários.

5.2.1.2 Número de faces

O número de faces pode ser considerado um “bônus”. Nenhum dos orçamentos oferecidos pelas empresas solares conta com esta variável. Pode existir em uma casa, uma face de telhado que é ideal para a produção solar mas que é pequena demais para receber o número de painéis necessários. Pensando nisso, é possível colocar quantos forem necessários nesta face e o resto em uma segunda face. A planilha determinará automaticamente qual é a melhor face para geração fotovoltaica, uma informação bastante interessante para quem é leigo na área de energia solar. O número de face também interferirá no custo do projeto, pois a dificuldade para instalar painéis em duas faces é maior. O espaço disponível em cada face determinará o número de painéis que cabem em cada.

5.2.1.3 Desvio azimutal

O desvio das faces em relação ao norte verdadeiro é uma coisa um pouco mais complicada de ser entendida, embora seja crucial para o cálculo de produção. O sol não passa exatamente no mesmo lugar em todas as épocas do ano, e tampouco passa no mesmo “lugar” em todas as partes do globo. Se os raios solares são mais intensos na linha do equador, significa que em lugares geograficamente mais ao sul da linha o sol passa um pouco “desviado” para o norte, enquanto em lugares mais geograficamente ao norte da linha, o astro rei passa mais ao sul. Porém, o norte geográfico não realmente o norte verdadeiro, não confundir entretanto com “norte

magnético”. No caso de Curitiba, que fica ao sul da linha do equador, quanto mais os painéis forem direcionados para o norte verdadeiro, maior será a irradiação sobre eles e logo maior será produção energética. A diferença entre a direção de um ponto para o norte verdadeiro e a sua direção real, calculada em graus, é chamada de desvio azimutal. A equação da produção energética fotovoltaica em relação ao desvio azimutal é uma parábola, ou seja, de segundo grau, pois 360° e 0° se equivalem, sendo o pior dos casos uma orientação completa para o sul verdadeiro, 180° . As empresas solares fazem seus orçamentos presumindo que todos os painéis seriam apontados para o norte verdadeiro, e o fazem por um motivo: seduzir o cliente. Com todos os painéis virados para a melhor direção, a produção será maior e a economia também, produzindo um VPL maior.

Na planilha existem dois métodos para serem escolhidos para este desvio: “rosa dos ventos” e “desvio azimutal”. O método de rosa dos ventos é o mais simples, e permite que o usuário forneça a direção de cada face do telhado usando apenas as opções “norte”, “nordeste”, “leste”, “sudeste”, “sul”, “sudoeste”, “oeste” e “noroeste”. Ao escolher essa opção, a planilha irá buscar uma simplificação do cálculo de “perdas azimutais”, que são as perdas existentes por não apontar os painéis para o norte verdadeiro. Escolhendo a opção “norte” em alguma das faces, a perda azimutal dessa face será 0, enquanto se escolher a opção “sul”, será a maior perda possível deste método: 30%. Essa simplificação é aceitável para quem não possui certeza sobre o desvio das faces do seu telhado, porém é pouco precisa, afinal existem 22,5 graus entre o “sul” e o “sudeste”, havendo um “sul” mais “sul” do que outro “sul”. Para uma precisão maior, pode ser usado o método “desvio azimutal”. O azimute da face de um telhado pode ser calculado usando o software Google Earth. Ao inserir as informações dos graus de desvio, a planilha irá buscar numa base de dados do Global Solar Atlas, um portal aberto a todos, de autoria do The World Bank Group, a produção para aquele desvio naquela inclinação e comparar com a produção na mesma inclinação e no desvio 0° , calculando assim a perda azimutal da face. Os dados foram coletados a cada 5 graus de desvio, e após isso foi feita uma regressão polinomial de grau 2, para ser possível calcular a produção de qualquer grau azimutal. Para cada inclinação, uma equação diferente, sendo que o menor R^2 encontrado foi na inclinação 40° , 0,8654.

5.2.1.4 Inclinação dos painéis

O próximo dado necessário para os cálculos está intimamente ligado com o desvio azimutal: a inclinação dos painéis. Os raios solares não incidem da mesma forma em todo o planeta Terra, tanto em intensidade quanto em inclinação. A linha do Equador recebe os raios solares de forma direta durante todo o ano, enquanto nas outras regiões a posição da Terra em relação ao Sol e sua inclinação afetam a recepção dos raios da estrela, formando as estações do ano. A inclinação das outras regiões é a latitude delas. Portanto, inclinando os painéis fotovoltaicos em um número de graus igual a da latitude irá produzir melhores resultados. Existem 4 possibilidades para a inclinação dos painéis: a ideal é um painel com um rastreador de 2 eixos, que segue o sol seja qual for sua posição durante o dia, respeitando as diferenças de estação, porém um equipamento assim possui um elevado custo, e não foi levado em conta na planilha. A segunda opção é inclinar os painéis de acordo com as 4 estações do ano, que produziria 75,7% do que seria produzido com um rastreador de 2 eixos. Logo abaixo, estaria a opção de mudar a inclinação apenas para verão e inverno, que resultaria em 75,2% da produção com rastreador de 2 eixos. Por último, manter os painéis na mesma inclinação durante todo o ano produziria 71,1% da produção ótima, com rastreador de 2 eixos.

Para Curitiba, a inclinação ideal seria $25^{\circ} 25' 40''$. Na planilha há dois métodos de inclinação das faces: “inclinação real” e “forçar inclinação ótima”. Colocando inclinação ótima, a planilha irá fazer todos os cálculos assumindo a melhor inclinação possível e com inclinação real, ela irá calcular as perdas que haveriam por não escolher a inclinação ótima, usando os dados do Global Solar Atlas. Pode-se colocar a inclinação das faces dos telhados, escolhendo “inclinação real”, porém há que se notar que é possível colocar uma inclinação mais desejável com o uso de um suporte para painéis, talvez até um que torne possível mover o painel para uma inclinação melhor dependendo da época do ano.

5.2.1.5 Conexão Copel

O tipo de conexão Copel pode ser encontrado na conta de energia. Dependendo do consumo de uma residência e seus equipamentos, a instalação da Copel é diferente. Por exemplo, para indústrias a Copel praticamente só instala redes trifásicas, já que se supõe que estes estabelecimentos possuem maquinário e equipamentos de alto consumo de energia. Existem três possibilidades: monofásica, bifásica e trifásica. Para o uso de painéis solares, é necessário ter ao menos uma conexão bifásica. Na planilha, essa escolha afetará a conta de luz: a copel aplica consumo mínimo dependendo do tipo de conexão: monofásica 30 kWh, bifásica 50 kWh e trifásica 100 kWh. Ou seja, com uma conexão bifásica, mesmo que se consuma menos de 50 kWh, a conta virá como se o consumo tivesse sido 50 kWh. Isso é importante, pois muitas pessoas pensam em se livrar completamente da conta de luz, mas não é viável produzir mais que o consumo total, já que mesmo assim terá que pagar uma conta de consumo mínimo. Existe a possibilidade de sair completamente da ligação com a Copel, mas também é pouco viável, porque seria necessária instalação de baterias solares, que possuem um custo bastante expressivo.

5.2.1.6 Base de dados de irradiação solar

Na próxima seção, é possível escolher a base de dados de irradiação solar para fazer os cálculos de produção. As opções são: Atlas Solar, Nasa Média, Nasa Mínima e Nasa Máxima, que refletem as duas fontes de dados, no site da Nasa e no Atlas Solar do Paraná. Comparando os dados do Atlas Solar com os dados da média da Nasa, os dados da agência espacial americana são mais conservadores. “Nasa mínimo” apresenta os menores dados de irradiação já registrados para cada mês, enquanto “Nasa máximo”, os maiores. “Nasa Média” é a média de irradiação histórica, e não uma média simples entre “Nasa mínimo” e “Nasa máximo”. Um ponto interessante

é que “Nasa Média” apresenta valores maiores do que “Atlas Solar” nos meses de verão e valores menores nos meses de inverno, portanto ao escolher a base de dados da agência estadunidense, mais créditos serão gerados no verão do que observado com os dados do site paranaense.

5.2.1.7 Inflação da tarifa

O campo "inflação da tarifa" é, com toda a certeza, o mais subjetivo de toda a planilha. Prever a inflação da tarifa energética no Brasil é bem mais complicado do que prever a irradiação solar. O Brasil passou por uma crise com um índice nacional de preços ao consumidor - amplo (IPCA) bastante elevado, mas em 2017 o IPCA ficou bem abaixo, o que levou algumas pessoas a questionarem e criticarem esse índice como eficaz medida de inflação. As empresas solares usam em seus orçamentos a inflação dos últimos anos da tarifa, 10,4%, por um motivo bem claro: com uma inflação maior, as contas futuras são maiores, logo as economias com a produção solar serão maiores e o VPL da decisão de instalar os painéis ficará maior. As opções a escolher são: "divulgado por empresas solares", "último IPCA", "IPCA 5 anos", "média IPCA 5 anos", "IPC - Fipe" e "Customizada". Ao escolher "divulgado por empresas solares", os cálculos serão feitos com o mesmo índice usado pelas empresas solares, o ponto positivo disso é que é a inflação apenas da tarifa e o ponto negativo é que ele está enviesado pela crise econômica e é bastante alto (10,4%). O último IPCA usará os dados de 2017 para cálculo, é um número mais atual, embora possa ser considerado baixo demais para a realidade brasileira. IPCA 5 anos irá ajustar a fatura apenas a cada 5 anos, com o valor de 36% e "Média IPCA 5 anos" é uma média simples dos últimos 5 dados de IPCA anuais. "IPC - Fipe" usa o índice de preços ao consumidor da FIPE. Por fim, há a opção "customizada", que libera o campo "inflação a ser usada" para usar qualquer inflação desejada, mostrando que a decisão quanto à inflação é realmente do usuário e vai de cada pessoa.

5.2.1.8 Opções de pagamento

A última escolha a ser feita na interface da planilha é “opções de pagamento”. As opções são: Banco Santander (12, 24 ou 36 parcelas), BV Financeira (14, 24, 36, 48 e 60 parcelas), à vista, 40% à vista e o resto em 3 parcelas no boleto, 6 parcelas no cartão de crédito e opções do Banco Santander com entrada de R\$ 5.000,00 (4, 12, 18, 24 e 36 parcelas.. As informações de taxas de juros para tais financiamento foram retiradas de orçamentos das empresas solares, usando fórmulas financeiras com valor de parcelas, número de parcelas e valor à vista para encontrar as taxas de juros. A influência desta escolha atingirá o VPL, tanto nas datas das saídas do dinheiro, quanto no valor total a ser pago.

5.2.2 Produção

5.2.2.1 Número de painéis

O cálculo de quantos painéis são necessários leva em conta o consumo, o tipo de conexão copel, o espaço no telhado e as perdas azimutais e de inclinação das faces. A primeira etapa feita pela planilha é buscar entre os painéis cadastrados qual é o melhor. Baseado no preço, no tamanho e na eficiência, a planilha monta um *ranking* dos painéis baseados nessas informações e retorna o que possui o maior índice. A próxima etapa é decidir quanto do consumo será necessário reduzir. Esta conta é feita levando em conta o consumo e a conexão de copel, para evitar que os painéis produzam mais do que o necessário, deixando a residência consumir tanto quanto a copel exige de consumo mínimo.

5.2.2.2 Melhor face

A terceira etapa é determinar a melhor face usando as informações fornecidas pelo usuário. As informações de desvio azimutal e inclinação determinarão a perda de cada um em relação ao que seria a produção ótima, somando a perda azimutal e a perda de inclinação cria-se um índice no qual a face que obtiver o menor número é a melhor, pois apresenta a menor perda total. Usa-se então a informação de área de cada face para limitar o número de painéis. Se a melhor face não suportar o número de painéis necessários, será colocado o maior número possível nela e depois tentará colocar os restantes na segunda melhor face e, se esta não for suficiente, será também usada a terceira melhor face.

É calculada a média de irradiação solar e multiplicado pelo tamanho do painel e sua eficiência para determina a produção por painel, depois são subtraídos os dados de perda total da face para chegar a uma produção final por painel. A produção necessária (calculada com o consumo e tipo de conexão copel) é dividida pela produção final por painel para conseguir o número de painéis. Esse número é arredondado para cima, pois não há “meio painel” e ao decorrer dos anos os painéis vão perdendo sua eficiência. Multiplicando o número de painéis por sua potência individual, encontra-se a potência máxima total, que é determinante para a escolha do inversor ideal.

5.2.2.3 Conta de energia

A “Produção A” é a produção calculada usando os dados de irradiação solar mensal e os dados de eficiência e tamanho e painel. Ela é a produção na inclinação ótima e no desvio azimutal ótimo. Ao retirar as perdas azimutais e de inclinação, obtém-se a “Produção B”, que é diferente para cada face, já que cada uma possui uma diferente inclinação e/ou desvio azimutal. Multiplicando a Produção B de cada face pelo número de painéis da mesma face e somando, é encontrada a produção total do sistema fotovoltaico. Comparando produção total e consumo, verifica-se se há geração de créditos ou não. Não havendo geração de créditos e sendo o consumo maior que a

produção, é verificado se há um estoque de créditos que possa compensar o consumo. Se retirando a produção e o estoque de créditos do consumo, este ainda for maior que o consumo mínimo baseado no tipo de conexão Copel, a conta será o consumo multiplicado pelo valor da tarifa, esta última dependerá do ano e da inflação. Se a produção e o estoque de créditos excederem o consumo, ou se for menor que o consumo mínimo, a conta será consumo mínimo multiplicado pela tarifa. A conta sem os painéis é basicamente o consumo multiplicado pela tarifa.

5.2.2.4 Bandeiras tarifárias

Importante também marcar que há a existência das bandeiras tarifárias, implementada pelo governo em 2015. Baseado no custo de produção de energia no Brasil, o governo poderá decretar as bandeiras verde, amarela, vermelha patamar 1 e vermelha patamar 2. O sistema de energia elétrica no Brasil é baseado em hidrelétricas, e quando chove pouco há pouco fluxo de água e consequentemente menos energia, e para cobrir esta queda na produção são ligadas as termelétricas, que são mais caras. Cada bandeira acresce um determinado valor à conta, levando em conta o consumo. Para a planilha, foram resgatados os dados históricos das bandeiras e calculadas as probabilidades de acontecerem, projetando para os meses da análise (25 anos). Por essa razão, a cada recálculo que o Excel fizer, as bandeiras serão diferentes, assim como as contas e o VPL. Os valores dos acréscimos de cada bandeira sofrerão influência da mesma inflação de tarifa escolhida.

5.2.2.5 Valor presente líquido

O “VPL com FV” leva em conta todas as saídas de caixa pela conta de luz com o sistema fotovoltaico instalado e os desembolsos relacionados aos pagamentos do sistema em si, que serão diferentes dependendo da forma de financiamento escolhida. O “VPL sem FV”, por outro lado, é somente as contas de luz sem o projeto, trazidas a valor presente. A diferença entre os dois será a chave para a decisão. Se esta for positiva, instale o sistema fotovoltaico, se for negativa ou nula, não corra o risco, não instale o sistema fotovoltaico.

6 ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

6.1 VARIÁVEIS

Quando perguntadas, as empresas solares se apressam em afirmar que os sistemas fotovoltaicos são viáveis, antes mesmo de analisar o local de instalação. Com efeito, a única informação que pedem para o primeiro orçamento é meramente uma conta de energia recente e logo prometem liberdades e economias com seus sistemas, que dizem se pagar (*payback*) por volta do quinto ou sexto ano. Porém, em seus primeiros orçamentos sempre exibem uma projeção em condições ótimas de inclinação, desvio azimutal e sombreamento. O objetivo desta seção é determinar quando não é economicamente viável a instalação do sistema fotovoltaico. Para isto, será determinada uma residência exemplo e com o auxílio da planilha, será alterada uma variável enquanto mantém as outras estáveis para determinar até quando é viável, ou quando passar a ser viável.

6.1.1 Residência exemplo

A residência exemplo possui 6 residentes, 2 acima de 50 anos, 3 acima de 20 e 1 abaixo. Dois deles trabalham fora, 1 trabalha no lar e outros 3 estudam em faculdades e escola. A residência é classe média alta, localizada em um bairro nobre de Curitiba. Há nela, diversos eletrônicos e eletrodomésticos, como 3 televisores e 2 geladeiras. Se for analisado, são diversas as variáveis que podem influenciar, até mesmo psicológicas. No entanto, todas essas variáveis podem ser resumidas e uma variável fácil de medir, de obter dados históricos e realizar cálculos, a variável mais importante para as empresas solares: o consumo de energia elétrica.

Inicialmente, serão considerados dados ótimos de produção. Todas as variáveis estão na aba “*Interface*” e são elas que serão alteradas a fim de fazer as análises. Os

dados iniciais serão apresentados em sequência. Método de consumo: últimos consumos, consumo:

- Janeiro: 370 kWh
- Fevereiro: 410 kWh
- Março: 390 kWh
- Abril: 400 kWh
- Maio: 350 kWh
- Junho: 390 kWh
- Julho: 360 kWh
- Agosto: 380 kWh
- Setembro: 380 kWh
- Outubro: 350 kWh
- Novembro: 410 kWh
- Dezembro: 380 kWh

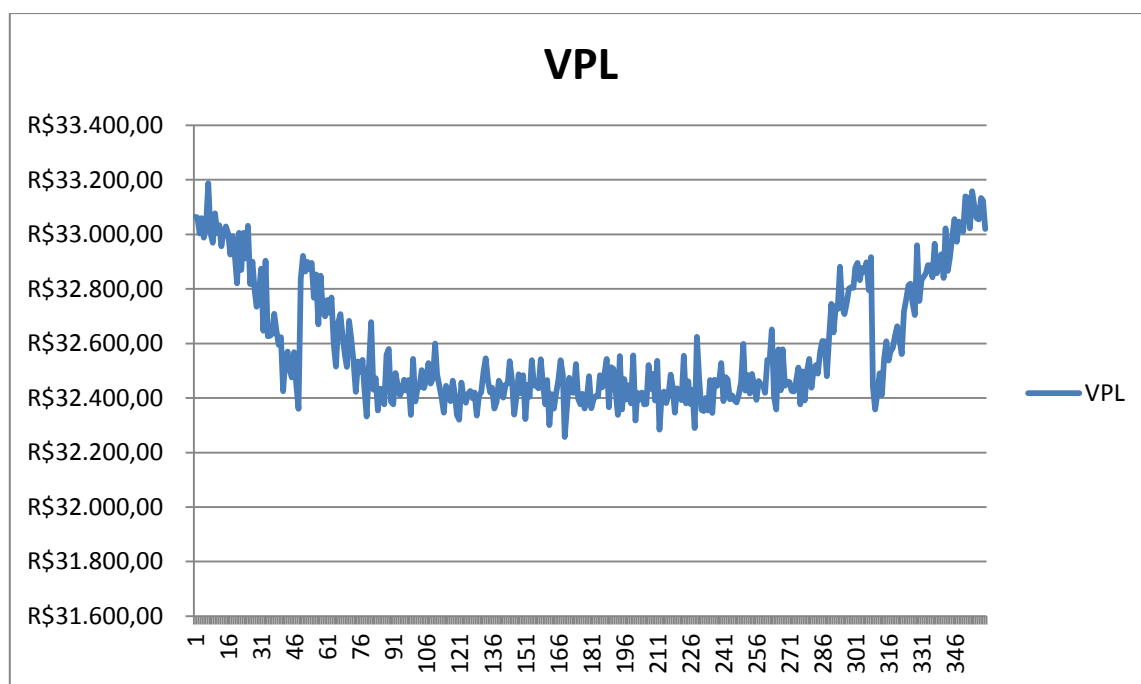
Uma face de telhado, “desvio azimutal” como método de desvio de faces, com 0° de desvio em relação ao Norte verdadeiro, inclinação ótima, conexão trifásica, inflação de tarifa média IPCA dos últimos 5 anos, e opção de pagamento financiamento do Banco Santander em 12 parcelas. Com estes dados, o VPL encontrado foi de R\$ 33.11.21.

6.2 DESVIO AZIMUTAL

A primeira variável a ser analisada será o desvio azimutal. As demais variáveis ficarão estáveis enquanto apenas o desvio azimutal desta única face é alterado, de 0° até 359° para verificar seu impacto no VPL. Os dados são os seguintes:

6.2.1 Inclinação ótima

GRÁFICO 6 – VPL NA INCLINAÇÃO ÓTIMA



FONTE: O autor (2018)

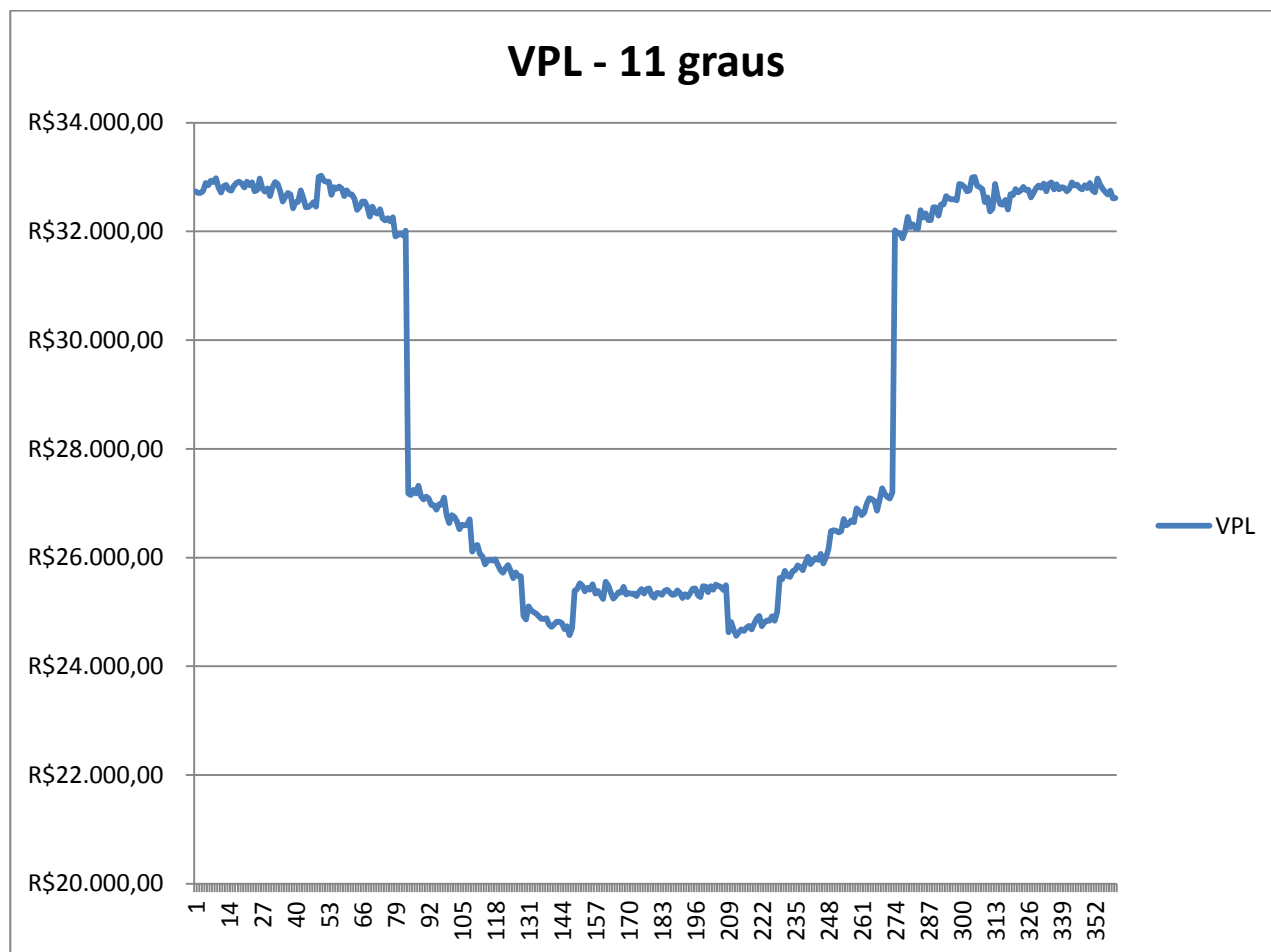
O gráfico mostra os dados de VPL (eixo Y) para cada grau de desvio azimutal (eixo X) e evidencia que quanto mais orientado para o norte verdadeiro (nas extremidades do gráfico), maior será o VPL, o que já era esperado, devido a uma melhor irradiação e consequente melhor produção fotovoltaica. O inesperado para esta configuração das variáveis evidencia um fato curioso sobre os dados de irradiação em inclinação ótima no Global Solar Atlas: chegando ao centro (180°) a irradiação pouco ou nada altera, formando uma cadeia de dados constantes no centro do gráfico. Nesta

análise, o menor valor de VPL encontrado foi R\$ 32.257,31, com 169° de desvio azimutal, e o maior valor, R\$33.187,62 com 6° . Para nenhum valor de desvio azimutal o VPL foi negativo, o que pode levar a certa desconfiança dos dados de inclinação ótima, lembrando que seria muito difícil chegar a esta inclinação na realidade. É possível notar no gráfico dois momentos de grandes discrepância entre um grau e outro, que acontecem nas mudanças de 307° para 308° e de 47° para 48° , que são os momentos nos quais a planilha muda o número de painéis solares, para compensar por uma perda menor na mudança de 307° para 308° e uma perda maior na 47° para 48° . Neste exemplo, a quantidade de painéis ficou entre 8 e 9. Os dados são oscilantes e não uma parábola exata devido às bandeiras tarifárias, que são calculadas por probabilidade ao invés de serem fixas.

6.2.2 Inclinação 11 graus

Foi verificado então em uma inclinação real, mudando de “forçar inclinação ótima” para “inclinação real”. A primeira inclinação usada foi 11 graus e o resultado está apresentado no gráfico abaixo.

GRÁFICO 7 – VPL NA INCLINAÇÃO 11 GRAUS



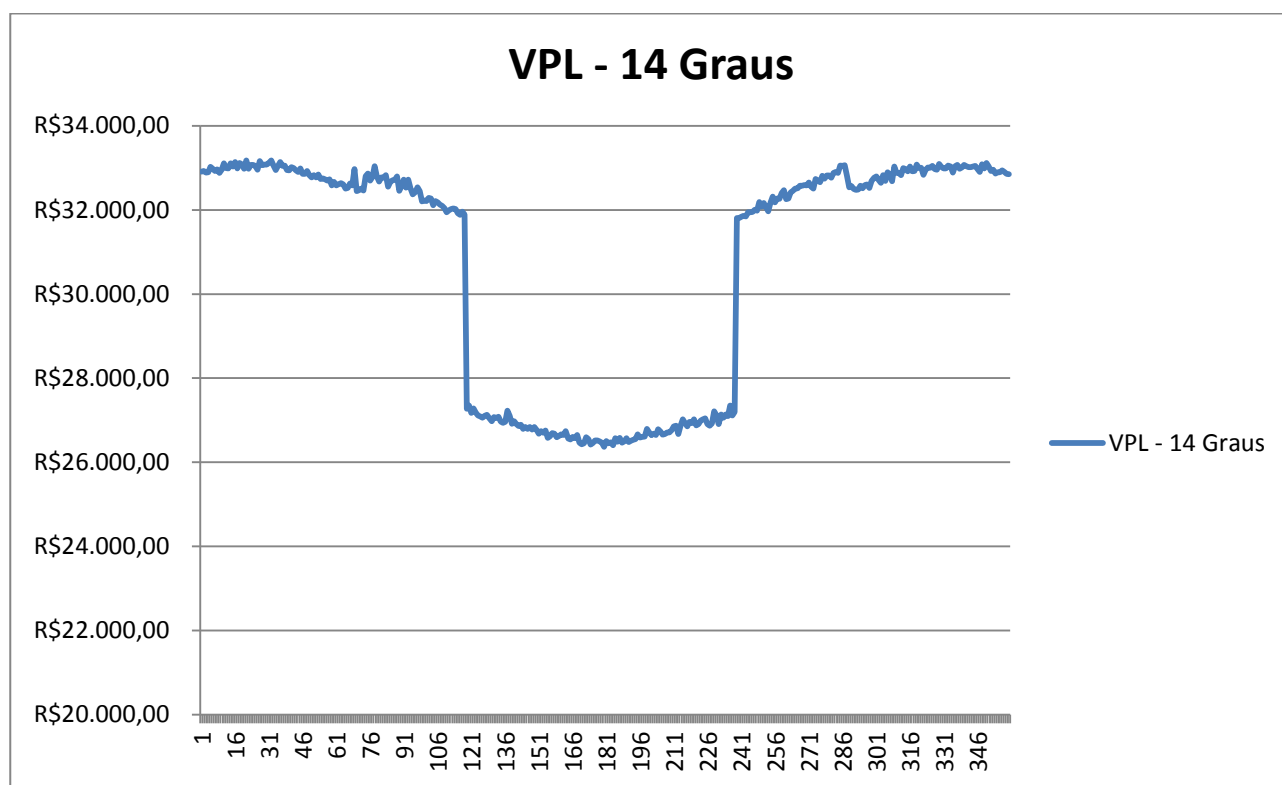
FONTE: O autor (2018)

É possível notar uma grande diferença em relação à curva de inclinação ótima. Há uma grande queda no VPL que se dá pela mudança de número de painéis e, quase que simetricamente, uma grande alta pela mesma razão. Como neste modo a planilha tenta compensar a perda de produção usando o número de painéis para conseguir bater o consumo, o centro do gráfico apresenta dados de VPL maiores do que as regiões entre os graus 129 e 145 e 209 e 225, apesar destes últimos apresentarem uma menor perda e maior produção por painel. O menor nível foi no grau 211, com R\$ 24.560,91 e o maior, 49 com R\$ 33.024,24. Interessante que ambos não estão nos lugares que mais seriam esperados, o menor em volta de 180° e o maior no

começo das pontas. A queda drástica que há leva a questionar um pouco o método de compensar o consumo. As mudanças no número de painéis aconteceram nos graus 48, 83, 108, 128, 148, 208, 228, 248, 273, 308, 312 e 313, somando doze mudanças, enquanto na inclinação ótima foram apenas duas. Começa no grau 0 com oito painéis, passando por nove, dez, onze e doze painéis chegando ao máximo de treze painéis fotovoltaicos. No grau 312 acontece algo diferente: a planilha vai para nove painéis, enquanto em 311 e 313 ela possui apenas oito. Interessante notar que neste grau o VPL foi cercar de R\$ 400,00 maior que o grau anterior e R\$ 200,00 menor que o grau seguinte. Nesta inclinação não foram encontrados dados de VPL negativos.

6.2.3 Inclinação 14 graus

GRÁFICO 8 – VPL NA INCLINAÇÃO 14 GRAUS

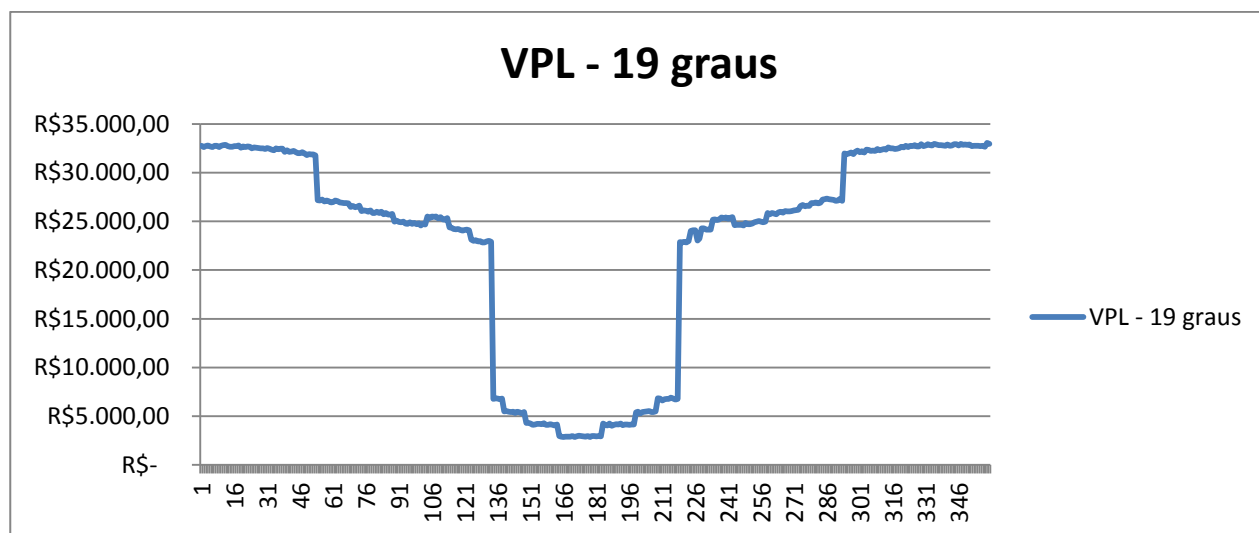


FONTE: O autor (2018)

A curva para a inclinação de 14 graus apresenta um comportamento menos “rebelde” no centro do gráfico se comparado à de 11 graus. Ainda assim, é possível notar a queda e a subida acentuadas de número de painéis. O menor valor foi para o grau 171 com R\$ 26.371,31 e o maior, 20 com R\$ 33.178,69. Outra vez os números não foram os “mais esperados”, embora estejam mais próximos a isso do que estavam na inclinação 11 graus, 171 está a apenas 9 de diferença de 180. As mudanças ocorreram nos graus 68, 69, 73, 118, 238 e 288, 6 mudanças, indo de oito até dez painéis. As mudanças de nove para dez painéis (grau 118 para grau 119) e de dez para nove (grau 238 para grau 239) são bastante notáveis no gráfico, porém as outras três mudanças também podem ser observadas, uma queda quase no final da curve, seguido de uma oscilação ascendente e no início da curva um aumento ao final de uma oscilação descendente.

6.2.4 Inclinação 19 graus

GRÁFICO 9 – VPL NA INCLINAÇÃO 19 GRAUS

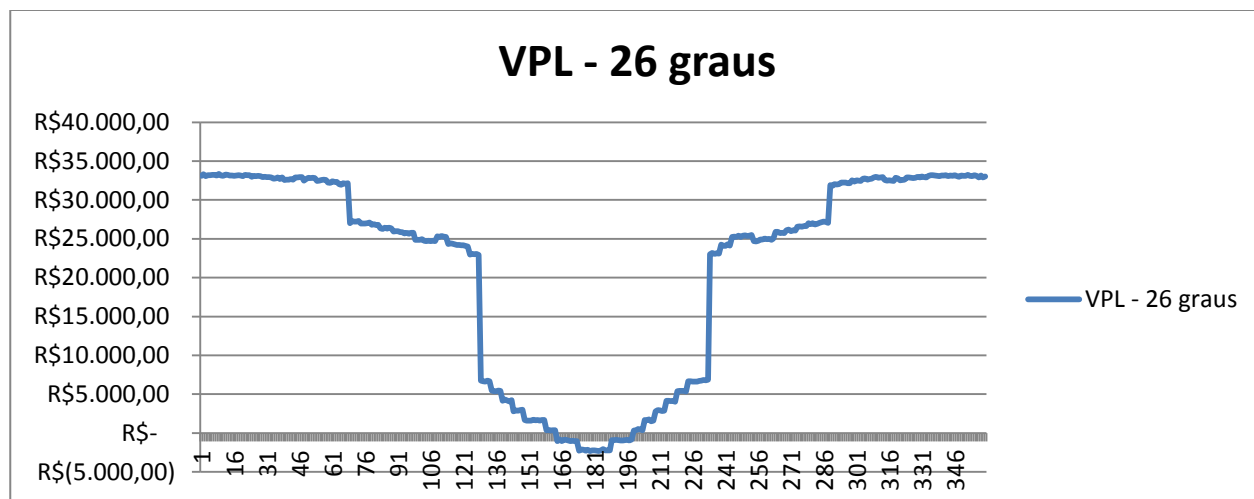


FONTE: O autor (2018)

Em comparação com o de 14 graus, o gráfico da inclinação de 19 graus possui um centro mais estreito, é menos oscilante e sua curvas possui formatos mais “retos”. O menor valor de VPL foi encontrado no grau 170, valor de R\$ 2.851,14 e o maior, grau 358 com R\$ 33.054,16. Pela primeira vez na análise, o maior valor de VPL foi encontrado no final da curva ao invés do começo, sendo este valor 358°, um grau a menos do que a ponta deste lado do gráfico e dois para 360°/0°, na região esperada. Quanto ao menor valor, está próximo do valor esperado (180°), embora não tanto quanto o maior valor do seu respectivo valor esperado. As mudanças ocorreram nos graus 53, 73, 88, 103, 113, 123, 133, 138, 148, 163, 183, 198, 208, 218, 223, 226, 228, 233, 243, 258, 273, 293 e 358, 23 mudanças. Nesta inclinação, ao contrário das anteriores, o número de painéis com 0 grau foi de nove ao invés de oito. Os números de painéis foram de nove, dez, onze, doze, treze, quatorze, quinze, dezesseis, dezessete, dezoito, dezenove e depois retornando um a um até nove novamente, antes de mudar para oito no grau 358 que, coincidência ou não, é o com maior valor de VPL. No centro da curva, as mudanças de número de painéis é bem perceptível, pois formam uma “escada”.

6.2.5 Inclinação 26 graus

GRÁFICO 10 – VPL NA INCLINAÇÃO 26 GRAUS

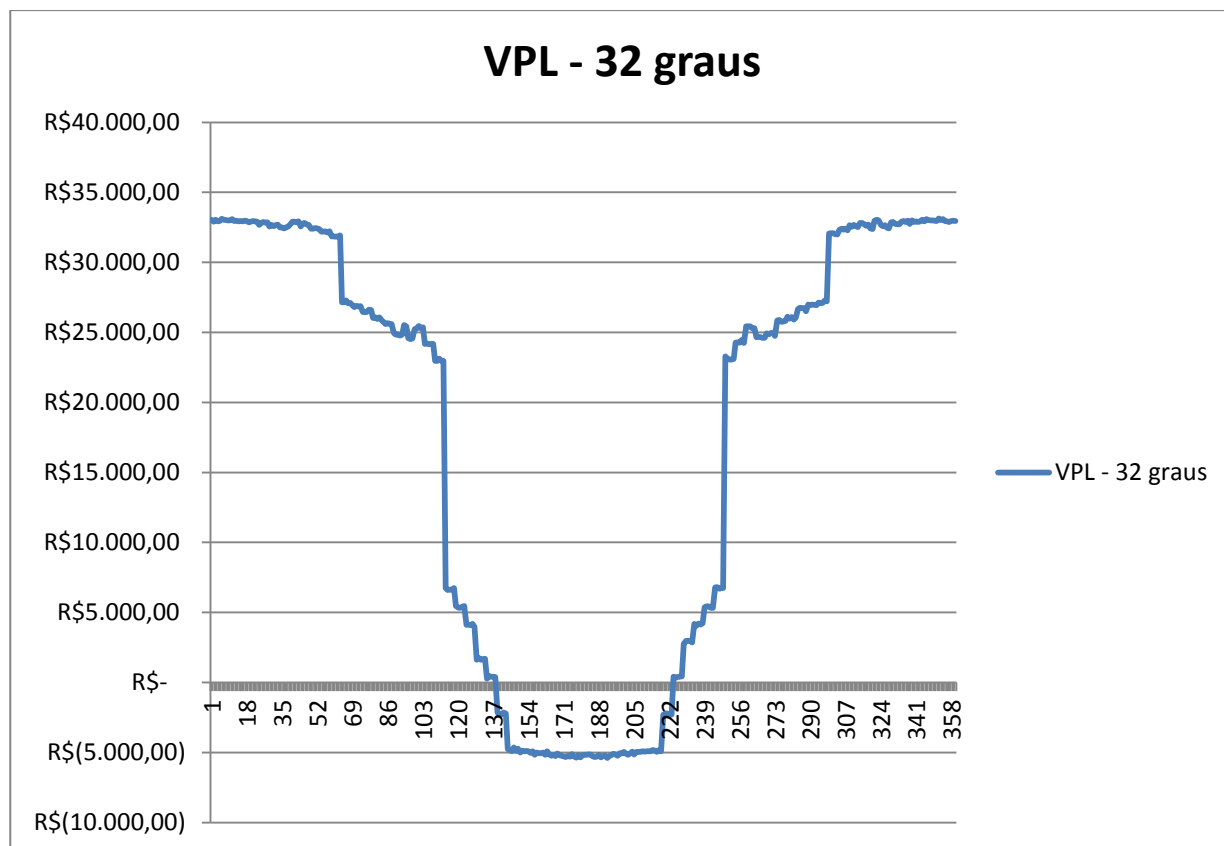


FONTE: O autor (2018)

A inclinação ótima fica entre a inclinação 19 grau e inclinação 26 graus, portanto a de 26 é a primeira após a inclinação ótima e a primeira a apresentar valores negativos para o VPL. O menor valor de VPL ocorre em 178 graus, bem próximo aos esperados 180°, com R\$ 2.312,94 negativos e o maior ocorre aos 8° com R\$ 33.349,18. É possível notar claramente as mudanças no número de painéis para compensar as perdas, chegando a um momento no qual não é viável tentar compensar mais o consumo. Em comparação á curva da inclinação 19 graus, no centro da inclinação 26 graus há mais “degraus” na “escada”. O VPL é negativo entre 163° e 197°, formando uma simetria, já que ambos distam 17° de 180° e, como esperado, esta é a área com maior número de painéis. As trinta mudanças ocorreram nos graus 43, 68, 88, 98, 108, 113, 123, 128, 133, 138, 143, 148, 158, 163, 173, 188, 198, 203, 208, 213, 218, 223, 233, 238, 243, 253, 263, 273, 288 e 313.

6.2.6 Inclinação 32 graus

GRÁFICO 11 – VPL NA INCLINAÇÃO 32 GRAUS



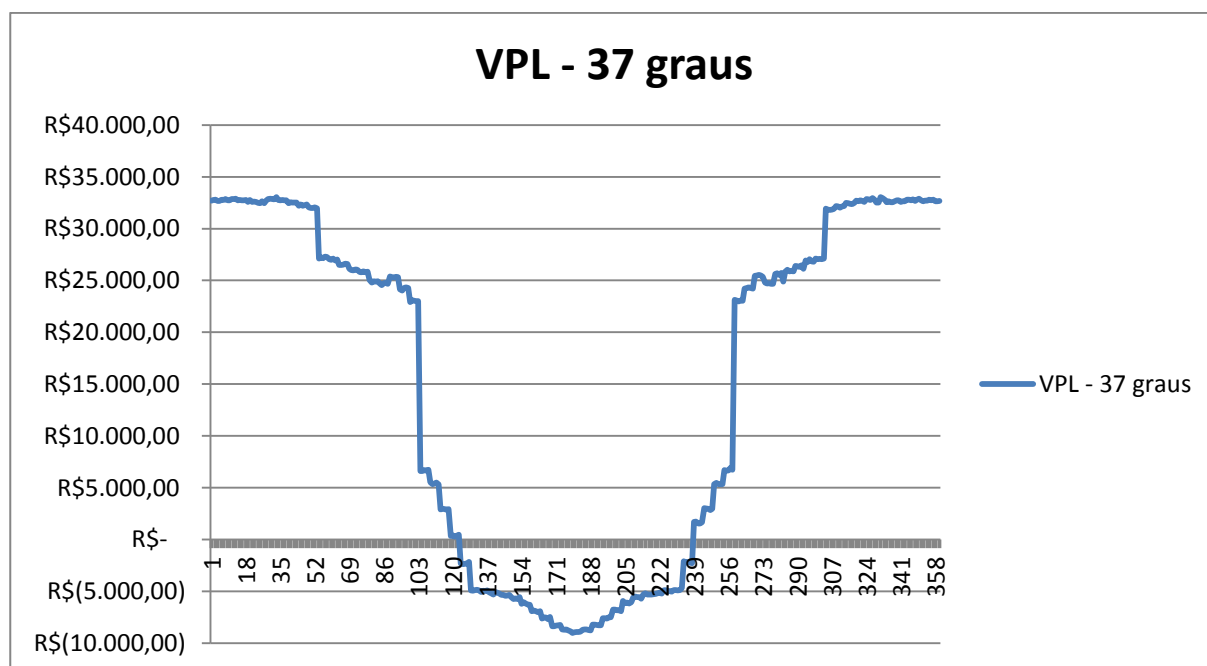
FONTE: O autor (2018)

A curva da inclinação 32 graus, embora se assemelhe às anteriores, tem uma diferença demarcável: seu centro é quase que uma linha, com valores bem semelhantes de VPL (ao redor de R\$ 5.000,00 negativos). Essa diferença se dá pelo fato de o número de painéis ter chegado ao seu máximo para o tamanho da face do telhado. Se não fora por isso, o centro desta curva seria uma “escada” como os outros, só que com mais “degraus” do que a curva de inclinação 26 graus. A área de VPL negativo da inclinação 32 graus é consideravelmente maior do que a de 26 graus e as pontas da curva estão menores, o que indica que a primeira mudança no número de painéis ocorreu antes e a última ocorreu depois. O menor valor encontrado foi em 191°, R\$ 5.387,37 negativos e o maior, 351°, R\$ 33.133,06. O menor valor dista 11° do mais esperado e o maior, 9°. As mudanças no número de painéis ocorreram nos graus 38, 63, 78, 88, 93, 98, 103, 108, 113, 118, 123, 128, 133, 138, 143, 148, 153, 158, 163,

168, 173, 188, 193, 198, 203, 208, 213, 218, 223, 228, 233, 238, 243, 248, 253, 258, 263, 273, 283, 298, 318, 320 e 323, totalizando 44 mudanças. Três fatos interessantes sobre as mudanças: aos 95° há uma queda no número de painéis quando era esperado um aumento; aos 320° a situação se inverte, há um aumento quando se espera uma queda; e no centro da curva os aumentos passam a ser de dois painéis por vez, já que as perdas de irradiação passam a ser drásticas.

6.2.7 Inclinação 37 graus

GRÁFICO 12 – VPL NA INCLINAÇÃO 37 GRAUS



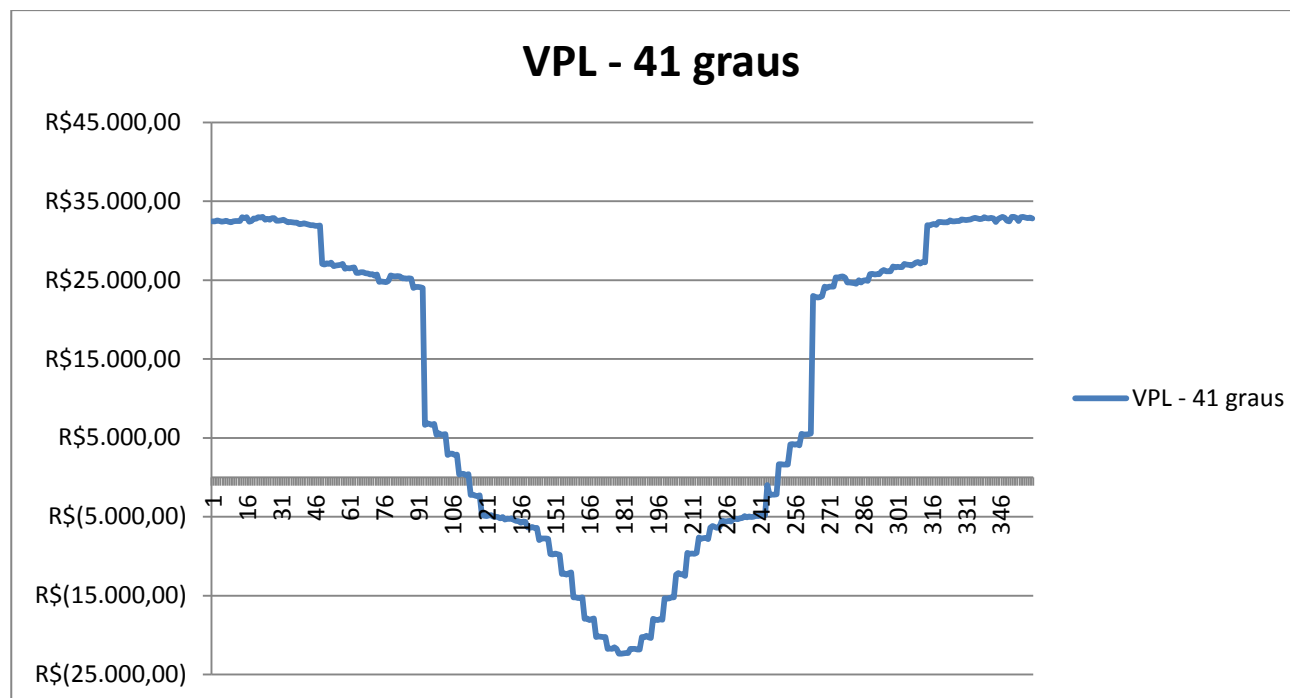
FONTE: O autor (2018)

A maior diferença entre a curva de inclinação 37 graus e a de inclinação 32 graus está certamente no centro. Enquanto na de 32 o limite de número de painéis por causa da área da face do telhado segurava o VPL ao redor R\$ 5.000,00 negativos, na de 37 as perdas por desvio azimutal são tão grandes que rompem esta “barreira” e fazem com que o VPL diminua consideravelmente mesmo sem aumentar o número de

painéis, pois a produção é escassa e não dá conta do consumo, gerando menos créditos (ou não gerando algum sequer) e encarecendo a conta de energia elétrica. Antes de chegar ao centro, é possível notar os “degraus” da escada, e uma resistência do limite de painéis até que seja rompida, formando um bolsão no centro. O menor valor veio aos 178° , R\$ 9.020,49 e o maior aos 32° R\$ 33.040,40. O menor valor ficou bem próximo aos esperados 180° , dois graus de diferença, já o maior valor veio 32° de distância do mais esperado. Dentre as cinquenta mudanças, seis são bem perceptíveis no gráfico: de 53° para 54° , de 102° para 103° , de 127° para 128° ; e suas mudanças-espelho, de 232° para 233° , de 257° para 258° e de 302° para 303° .

6.2.8 Inclinação 41 graus

GRÁFICO 13 – VPL NA INCLINAÇÃO 41 GRAUS



FONTE: O autor (2018)

A curva de inclinação 41 graus é a que apresenta as menores pontas, ou seja, a primeira mudança no número de painéis acontece bem cedo e a última, bem tarde. A grande queda no VPL e a grande alta estão menores do que nos outros casos e as oscilações antes e depois, respectivamente, também estão. Desta vez, o limite de painéis pouco segurou o VPL, formando um bolsão com os “degraus da escada”, cada um representando uma mudança no número de painéis. Falando nelas, foram 58, sendo que quatro são remarcáveis: de 47° para 48°, de 92° para 93°; e seus reflexos, de 262° para 263° e de 312° para 313°. O bolsão do centro é formado entre 123° e 232°. Dos 360° possíveis, 135 apresentaram VPL negativo, ou seja, colocando os painéis com uma inclinação de 41 graus em relação ao plano, existem uma chance de 37,5% de o sistema não ser viável, se o desvio azimutal não for checado. O menor valor veio, novamente, aos 178° e o maior, aos 355°. O maior valor foi mais próximo ao mais esperado se comparado ao resultado da inclinação 37 graus.

6.2.9 Detalhes sobre as inclinações

TABELA 1 – DADOS DE VPL POR INCLINAÇÃO

	11	14	19	26	32	37	41	Ótima
Maior VPL	R\$ 33.024,24	R\$ 33.178,69	R\$ 33.054,16	R\$ 33.349,18	R\$ 33.133,06	R\$ 33.040,40	R\$ 33.033,82	R\$ 33.187,62
Menor VPL	R\$ 24.560,91	R\$ 26.371,31	R\$ 2.851,14	-R\$ 2.312,94	-R\$ 5.387,37	-R\$ 9.020,49	-R\$ 22.350,45	R\$ 32.257,31
Média VPL	R\$ 29.001,40	R\$ 30.731,48	R\$ 22.857,80	R\$ 21.454,07	R\$ 17.838,46	R\$ 15.171,44	R\$ 11.683,92	R\$ 32.589,16
VPL Negativo %	0%	0%	0%	10%	24%	32%	38%	0%
Acima de R\$ 30 mil %	47%	67%	33%	39%	35%	31%	26%	100%
Primeira mudança	48°	68°	53°	43°	38°	28°	13°	48°
Última mudança	313°	288°	358°	313°	323°	330°	354°	308°
Número de mudanças	12	6	23	30	44	50	58	2

FONTE: O autor (2018)

A TABELA 1 exibe dados de maior VPL, menor VPL, média de VPL, porcentagem de graus que o VPL ficou negativo, porcentagem de graus que o VPL ficou acima de R\$ 30mil, em qual grau aconteceu a primeira mudança no número de painéis, em qual aconteceu a última e o número de mudanças para cada curva analisada. O maior VPL encontrado veio na curva da inclinação 26 graus e o menor na curva de 41 graus. O mais alto menor VPL está na curva de 14 graus de inclinação, que também possui a melhor média, excluindo a ótima. A pior média ficou com a de 41 graus. VPL negativos foram encontrados nas curvas de 26, 32, 37 e 41 graus, sendo que a maior chance é na de 41, com 38%. Este número representa a chance de ter prejuízo colocando um sistema dimensionado tendo apenas o consumo como base e sem importar com o desvio azimutal. A curva de 14 graus apresenta a melhor porcentagem de graus de desvio azimutal que retornam VPL acima de R\$ 30.000,00 e também é a melhor em termos de primeiro mudança (quanto maior este valor melhor, pois demora mais para que uma mudança no desvio azimutal mude o número de painéis), última mudança (quanto menor, melhor pelo mesmo motivo da primeira

mudança), que são representadas nos gráficos pelo final das “pontas” das curvas, e também no número de mudanças, se excluía a curva ótima, com apenas 6 mudanças. Por esses motivos, nesta análise, manter os painéis inclinados em 14 graus em relação ao solo é a melhor opção.

6.2.10 Melhor e pior desvio azimuthal

O maior valor de VPL para um desvio azimuthal foi encontrado em 8° (R\$33.329,18), na curva de 26 graus de inclinação e o menor valor de VPL, 178° na curva de 41 graus. Considerando todas as inclinações, incluindo a ótima, o melhor desvio azimuthal, por média, foi 350°, apresentando um VPL de R\$ 32.947,96, e o menor foi 178°, com média de R\$ 6.012,89, portanto nenhuma média de VPL para um determinado grau de desvio azimuthal foi negativo, e a média de todos foi R\$ 22.665,97. A tabela abaixo apresenta todos os dados de média de VPL para cada desvio azimuthal. Na TABELA 2 se encontram todos os dados das médias de VPL para cada grau de desvio azimuthal, excluindo-se a inclinação ótima.

TABELA 2 – DADOS DE VPL MÉDIO POR DESVIO AZIMUTAL

(continua)

Azim.	VPL	Azim.	VPL	Azim.	VPL	Azim.	VPL
	R\$ 32.846,38	90	R\$ 27.181,11	180	R\$ 6.058,70	270	R\$ 27.375,03
	R\$ 32.841,83	91	R\$ 27.135,66	181	R\$ 6.060,49	271	R\$ 27.371,84
	R\$ 32.847,25	92	R\$ 27.143,38	182	R\$ 6.063,76	272	R\$ 27.333,16
	R\$ 32.842,92	93	R\$ 24.835,91	183	R\$ 6.330,60	273	R\$ 28.292,78
	R\$ 32.855,38	94	R\$ 24.813,93	184	R\$ 6.349,37	274	R\$ 28.295,52
	R\$ 32.886,40	95	R\$ 24.755,88	185	R\$ 6.302,15	275	R\$ 28.253,10
	R\$ 32.919,31	96	R\$ 24.746,59	186	R\$ 6.316,51	276	R\$ 28.300,82
	R\$ 32.886,43	97	R\$ 24.780,28	187	R\$ 6.293,30	277	R\$ 28.269,82
	R\$ 32.861,17	98	R\$ 24.300,01	188	R\$ 6.711,94	278	R\$ 28.489,93
	R\$ 32.861,16	99	R\$ 24.376,87	189	R\$ 6.745,05	279	R\$ 28.445,71

TABELA 2 – DADOS DE VPL MÉDIO POR DESVIO AZIMUTAL

(continuação)

0	R\$ 32.898,76	00	R\$ 24.332,81	90	R\$ 6.750,31	80	R\$ 28.448,06
1	R\$ 32.909,96	01	R\$ 24.362,36	91	R\$ 6.706,19	81	R\$ 28.419,25
2	R\$ 32.892,62	02	R\$ 24.332,55	92	R\$ 6.673,26	82	R\$ 28.346,58
3	R\$ 32.916,88	03	R\$ 21.867,84	93	R\$ 7.117,65	83	R\$ 28.696,07
4	R\$ 32.898,41	04	R\$ 21.893,22	94	R\$ 7.117,21	84	R\$ 28.721,31
5	R\$ 32.933,34	05	R\$ 21.914,10	95	R\$ 7.109,34	85	R\$ 28.762,99
6	R\$ 32.846,18	06	R\$ 21.891,66	96	R\$ 7.103,21	86	R\$ 28.748,57
7	R\$ 32.902,05	07	R\$ 21.909,32	97	R\$ 7.134,65	87	R\$ 28.637,95
8	R\$ 32.860,23	08	R\$ 21.263,88	98	R\$ 7.895,17	88	R\$ 29.480,48
9	R\$ 32.858,36	09	R\$ 21.270,10	99	R\$ 7.932,67	89	R\$ 29.483,44
0	R\$ 32.935,27	10	R\$ 21.278,83	00	R\$ 7.868,42	90	R\$ 29.453,60
1	R\$ 32.877,00	11	R\$ 21.212,98	01	R\$ 7.914,64	91	R\$ 29.522,53
2	R\$ 32.917,58	12	R\$ 21.215,92	02	R\$ 7.887,19	92	R\$ 29.461,23
3	R\$ 32.751,91	13	R\$ 18.293,35	03	R\$ 8.585,81	93	R\$ 30.312,26
4	R\$ 32.821,01	14	R\$ 18.302,85	04	R\$ 8.540,88	94	R\$ 30.266,29
5	R\$ 32.819,86	15	R\$ 18.262,45	05	R\$ 8.543,05	95	R\$ 30.297,62
6	R\$ 32.830,66	16	R\$ 18.232,35	06	R\$ 8.521,24	96	R\$ 30.300,59
7	R\$ 32.818,15	17	R\$ 18.276,15	07	R\$ 8.529,24	97	R\$ 30.268,76
8	R\$ 32.748,60	18	R\$ 16.865,23	08	R\$ 9.172,08	98	R\$ 31.116,96
9	R\$ 32.747,65	19	R\$ 16.822,50	09	R\$ 9.201,69	99	R\$ 31.098,40

0	R\$ 32.786,51	20	R\$ 16.770,23	10	R\$ 9.182,94	00	R\$ 31.121,05
1	R\$ 32.789,36	21	R\$ 16.843,13	11	R\$ 9.138,13	01	R\$ 31.089,85
2	R\$ 32.789,79	22	R\$ 16.830,54	12	R\$ 9.151,64	02	R\$ 31.061,36
3	R\$ 32.609,72	23	R\$ 16.017,06	13	R\$ 9.645,23	03	R\$ 31.885,62
4	R\$ 32.639,20	24	R\$ 15.996,89	14	R\$ 9.660,21	04	R\$ 31.859,01
5	R\$ 32.658,38	25	R\$ 15.998,59	15	R\$ 9.625,59	05	R\$ 31.821,22
6	R\$ 32.641,74	26	R\$ 15.981,58	16	R\$ 9.643,74	06	R\$ 31.818,68
7	R\$ 32.666,47	27	R\$ 15.989,88	17	R\$ 9.611,13	07	R\$ 31.815,55
8	R\$ 32.495,22	28	R\$ 13.152,77	18	R\$ 12.296,65	08	R\$ 31.921,02
9	R\$ 32.573,35	29	R\$ 13.166,68	19	R\$ 12.367,74	09	R\$ 31.892,29
0	R\$ 32.549,26	30	R\$ 13.204,81	20	R\$ 12.359,16	10	R\$ 31.840,62
1	R\$ 32.584,60	31	R\$ 13.240,73	21	R\$ 12.310,72	11	R\$ 31.889,84
2	R\$ 32.557,87	32	R\$ 13.196,42	22	R\$ 12.354,33	12	R\$ 31.938,33
3	R\$ 32.450,41	33	R\$ 10.793,07	23	R\$ 13.119,46	13	R\$ 32.570,09
4	R\$ 32.484,69	34	R\$ 10.810,88	24	R\$ 13.124,19	14	R\$ 32.526,37
5	R\$ 32.470,22	35	R\$ 10.778,02	25	R\$ 13.090,07	15	R\$ 32.534,91
6	R\$ 32.465,83	36	R\$ 10.821,38	26	R\$ 12.970,86	16	R\$ 32.510,76
7	R\$ 32.392,61	37	R\$ 10.785,93	27	R\$ 12.978,65	17	R\$ 32.504,62
8	R\$ 31.829,96	38	R\$ 10.017,48	28	R\$ 13.627,17	18	R\$ 32.657,73
9	R\$ 31.855,56	39	R\$ 10.001,90	29	R\$ 13.632,89	19	R\$ 32.641,40
0	R\$ 31.860,65	40	R\$ 10.011,59	30	R\$ 13.594,08	20	R\$ 32.694,51
1	R\$ 31.853,20	41	R\$ 9.994,64	31	R\$ 13.624,93	21	R\$ 32.686,34

TABELA 2 – DADOS DE VPL MÉDIO POR DESVIO AZIMUTAL

(conclusão)

2	R\$ 31.850,72	42	R\$ 10.004,75	32	R\$ 13.644,24	22	R\$ 32.694,69
3	R\$ 30.498,89	43	R\$ 9.277,62	33	R\$ 16.323,89	23	R\$ 32.793,66
4	R\$ 30.526,90	44	R\$ 9.301,71	34	R\$ 16.303,14	24	R\$ 32.757,70
5	R\$ 30.550,68	45	R\$ 9.253,27	35	R\$ 16.356,85	25	R\$ 32.773,73
6	R\$ 30.524,29	46	R\$ 9.282,34	36	R\$ 16.329,85	26	R\$ 32.723,10
7	R\$ 30.576,40	47	R\$ 9.297,25	37	R\$ 16.362,60	27	R\$ 32.706,83
8	R\$ 30.329,48	48	R\$ 8.820,74	38	R\$ 17.741,09	28	R\$ 32.856,83
9	R\$ 30.329,85	49	R\$ 8.762,20	39	R\$ 17.767,19	29	R\$ 32.790,11
0	R\$ 30.354,70	50	R\$ 8.774,55	40	R\$ 17.706,70	30	R\$ 32.852,30
1	R\$ 30.352,82	51	R\$ 8.754,85	41	R\$ 17.738,47	31	R\$ 32.859,25
2	R\$ 30.368,99	52	R\$ 8.762,45	42	R\$ 17.762,08	32	R\$ 32.822,94
3	R\$ 29.519,65	53	R\$ 8.406,39	43	R\$ 18.626,47	33	R\$ 32.870,27
4	R\$ 29.487,59	54	R\$ 8.382,26	44	R\$ 18.484,16	34	R\$ 32.914,79
5	R\$ 29.581,11	55	R\$ 8.370,70	45	R\$ 18.449,15	35	R\$ 32.872,56
6	R\$ 29.568,23	56	R\$ 8.357,35	46	R\$ 18.480,27	36	R\$ 32.890,47
7	R\$ 29.528,95	57	R\$ 8.378,37	47	R\$ 18.485,95	37	R\$ 32.838,66
8	R\$ 28.773,74	58	R\$ 7.706,88	48	R\$ 21.458,01	38	R\$ 32.915,94
9	R\$ 28.724,07	59	R\$ 7.711,60	49	R\$ 21.450,89	39	R\$ 32.893,15
0	R\$ 28.720,57	60	R\$ 7.736,16	50	R\$ 21.393,32	40	R\$ 32.869,71
1	R\$ 28.705,27	61	R\$ 7.672,28	51	R\$ 21.408,50	41	R\$ 32.899,98
2	R\$ 28.741,02	62	R\$ 7.747,88	52	R\$ 21.422,46	42	R\$ 32.879,05
3	R\$ 28.446,96	63	R\$ 6.925,77	53	R\$ 22.026,88	43	R\$ 32.886,83
4	R\$ 28.463,61	64	R\$ 6.962,47	54	R\$ 22.031,93	44	R\$ 32.924,70
5	R\$ 28.452,21	65	R\$ 6.934,49	55	R\$ 21.998,73	45	R\$ 32.939,30

6	R\$ 28.463,16	66	R\$ 6.946,96	56	R\$ 22.102,10	46	R\$ 32.939,46
7	R\$ 28.536,79	67	R\$ 7.018,19	57	R\$ 22.037,29	47	R\$ 32.918,26
8	R\$ 28.293,98	68	R\$ 6.525,22	58	R\$ 24.591,59	48	R\$ 32.894,66
9	R\$ 28.277,71	69	R\$ 6.540,65	59	R\$ 24.541,34	49	R\$ 32.909,05
0	R\$ 28.315,41	70	R\$ 6.541,94	60	R\$ 24.530,16	50	R\$ 32.947,96
1	R\$ 28.277,69	71	R\$ 6.553,31	61	R\$ 24.516,88	51	R\$ 32.942,62
2	R\$ 28.248,82	72	R\$ 6.567,63	62	R\$ 24.590,96	52	R\$ 32.926,26
3	R\$ 27.467,40	73	R\$ 6.160,04	63	R\$ 26.952,73	53	R\$ 32.875,78
4	R\$ 27.491,61	74	R\$ 6.193,22	64	R\$ 26.954,66	54	R\$ 32.935,14
5	R\$ 27.497,23	75	R\$ 6.162,40	65	R\$ 26.944,19	55	R\$ 32.900,79
6	R\$ 27.499,32	76	R\$ 6.168,92	66	R\$ 26.922,92	56	R\$ 32.870,45
7	R\$ 27.527,92	77	R\$ 6.151,98	67	R\$ 26.962,47	57	R\$ 32.881,94
8	R\$ 27.180,25	78	R\$ 6.012,89	68	R\$ 27.368,42	58	R\$ 32.888,36
9	R\$ 27.174,31	79	R\$ 6.042,25	69	R\$ 27.351,11	59	R\$ 32.864,02

FONTE: O autor (2018)

6.2.11 Excluindo inclinação ótima

Excluindo-se a inclinação ótima, os resultados diferem um pouco, embora sem grandes discrepâncias. O melhor desvio azimutal passa a ser 346°, com R\$ 32.934,72 (R\$ 13,24 a menos do que com a inclinação ótima). Já o pior desvio azimutal segue sendo 178°, mas agora com R\$ 2.243,46 (uma diferença de R\$ 3.769,43). Cerca de 34% dos valores de VPL estão acima de R\$ 30 mil, 25% entre R\$ 30 mil e R\$ 20 mil, 15% entre R\$ 20 mil e R\$ 10 mil e 25% estão abaixo de R\$ 10 mil.

TABELA 3 – DADOS DE VPL MÉDIO POR DESVIO AZIMUTAL SEM INCLINAÇÃO ÓTIMA

(continua)

zim.	A	VPL	zim.	A	VPL	zim.	A	VPL
0		R\$ 32.815,33	0	9	R\$ 26.438,84	80	1	R\$ 2.301,03
1		R\$ 32.810,37	1	9	R\$ 26.370,58	81	1	R\$ 2.298,33
2		R\$ 32.825,07	2	9	R\$ 26.385,68	82	1	R\$ 2.300,37
3		R\$ 32.812,07	3	9	R\$ 23.753,93	83	1	R\$ 2.605,58
4		R\$ 32.836,43	4	9	R\$ 23.726,46	84	1	R\$ 2.615,94
5		R\$ 32.865,47	5	9	R\$ 23.654,23	85	1	R\$ 2.568,43
6		R\$ 32.880,98	6	9	R\$ 23.649,30	86	1	R\$ 2.577,86
7		R\$ 32.869,59	7	9	R\$ 23.682,39	87	1	R\$ 2.543,26
8		R\$ 32.845,78	8	9	R\$ 23.151,81	88	1	R\$ 3.047,07
9		R\$ 32.830,36	9	9	R\$ 23.210,19	89	1	R\$ 3.063,88
01		R\$ 32.883,65	00	1	R\$ 23.182,13	90	1	R\$ 3.070,83
11		R\$ 32.892,34	01	1	R\$ 23.208,89	91	1	R\$ 3.032,26
21		R\$ 32.883,58	02	1	R\$ 23.174,53	92	1	R\$ 3.006,96
31		R\$ 32.903,41	03	1	R\$ 20.348,71	93	1	R\$ 3.483,89
41		R\$ 32.879,73	04	1	R\$ 20.387,02	94	1	R\$ 3.511,49
51		R\$ 32.923,45	05	1	R\$ 20.406,78	95	1	R\$ 3.486,53
61		R\$ 32.834,83	06	1	R\$ 20.372,17	96	1	R\$ 3.490,16
17		R\$ 32.889,01	107		R\$ 20.403,17	197		R\$ 3.518,53
18		R\$ 32.851,51	108		R\$ 19.662,82	198		R\$ 4.397,34
19		R\$ 32.863,77	109		R\$ 19.651,59	199		R\$ 4.414,98
20		R\$ 32.925,26	110		R\$ 19.677,62	200		R\$ 4.375,68
21		R\$ 32.878,04	111		R\$ 19.608,43	201		R\$ 4.414,06
22		R\$ 32.905,00	112		R\$ 19.617,81	202		R\$ 4.386,28
23		R\$ 32.729,02	113		R\$ 16.285,84	203		R\$ 5.180,89
24		R\$ 32.791,04	114		R\$ 16.282,58	204		R\$ 5.135,79
25		R\$ 32.820,24	115		R\$ 16.238,92	205		R\$ 5.138,08
26		R\$ 32.820,83	116		R\$ 16.210,14	206		R\$ 5.092,70
						287		R\$ 28.089,18
						288		R\$ 29.031,96
						289		R\$ 29.017,56
						290		R\$ 28.998,28
						291		R\$ 29.063,17
						292		R\$ 28.994,79
						293		R\$ 29.945,23
						294		R\$ 29.913,78
						295		R\$ 29.953,36
						296		R\$ 29.951,06

TABELA 3 – DADOS DE VPL MÉDIO POR DESVIO AZIMUTAL SEM INCLINAÇÃO ÓTIMA

(continuação)

7	2	R\$ 32.821,59	17	1	R\$ 16.249,43	07	2	R\$ 5.114,44	97	R\$ 29.906,93
8	2	R\$ 32.750,58	18	1	R\$ 14.644,58	08	2	R\$ 5.841,15	98	R\$ 30.875,70
9	2	R\$ 32.743,72	19	1	R\$ 14.605,97	09	2	R\$ 5.889,04	99	R\$ 30.854,71
0	3	R\$ 32.774,00	20	1	R\$ 14.548,88	10	2	R\$ 5.846,74	00	R\$ 30.870,10
1	3	R\$ 32.809,78	21	1	R\$ 14.612,71	11	2	R\$ 5.831,52	01	R\$ 30.832,00
2	3	R\$ 32.773,65	22	1	R\$ 14.606,17	12	2	R\$ 5.828,74	02	R\$ 30.808,48
3	3	R\$ 32.607,27	23	1	R\$ 13.679,07	13	2	R\$ 6.391,24	03	R\$ 31.744,02
4	3	R\$ 32.640,83	24	1	R\$ 13.651,48	14	2	R\$ 6.414,27	04	R\$ 31.715,53
5	3	R\$ 32.661,63	25	1	R\$ 13.651,81	15	2	R\$ 6.370,74	05	R\$ 31.667,54
6	3	R\$ 32.632,22	26	1	R\$ 13.636,18	16	2	R\$ 6.380,60	06	R\$ 31.679,08
7	3	R\$ 32.669,37	27	1	R\$ 13.642,78	17	2	R\$ 6.349,32	07	R\$ 31.658,32
8	3	R\$ 32.481,04	28	1	R\$ 10.412,30	18	2	R\$ 9.432,45	08	R\$ 31.846,80
9	3	R\$ 32.566,34	29	1	R\$ 10.417,95	19	2	R\$ 9.500,92	09	R\$ 31.825,81
0	4	R\$ 32.567,09	30	1	R\$ 10.459,57	20	2	R\$ 9.493,36	10	R\$ 31.758,30
1	4	R\$ 32.589,59	31	1	R\$ 10.490,19	21	2	R\$ 9.442,01	11	R\$ 31.804,07
2	4	R\$ 32.556,13	32	1	R\$ 10.432,30	22	2	R\$ 9.468,56	12	R\$ 31.870,87
3	4	R\$ 32.443,40	33	1	R\$ 7.697,41	23	2	R\$ 10.367,95	13	R\$ 32.573,98
4	4	R\$ 32.486,04	34	1	R\$ 7.723,92	24	2	R\$ 10.361,81	14	R\$ 32.514,76
5	4	R\$ 32.456,20	35	1	R\$ 7.683,80	25	2	R\$ 10.334,73	15	R\$ 32.534,54
6	4	R\$ 32.468,21	36	1	R\$ 7.744,17	26	2	R\$ 10.191,09	16	R\$ 32.502,32

TABELA 3 – DADOS DE VPL MÉDIO POR DESVIO AZIMUTAL SEM INCLINAÇÃO ÓTIMA

(continuação)

7	4	R\$ 32.397,17	1	R\$ 7.700,19	2	R\$ 10.219,88	17	R\$ 32.493,37
8	4	R\$ 31.686,24	1	R\$ 6.810,87	2	R\$ 10.913,25	18	R\$ 32.662,06
9	4	R\$ 31.703,41	1	R\$ 6.795,44	2	R\$ 10.941,80	19	R\$ 32.638,41
0	5	R\$ 31.717,39	1	R\$ 6.813,00	2	R\$ 10.913,68	20	R\$ 32.706,17
1	5	R\$ 31.703,78	1	R\$ 6.786,99	2	R\$ 10.949,71	21	R\$ 32.704,35
2	5	R\$ 31.704,79	1	R\$ 6.797,69	2	R\$ 10.964,80	22	R\$ 32.691,56
3	5	R\$ 30.156,50	1	R\$ 5.955,19	2	R\$ 14.033,89	23	R\$ 32.798,29
4	5	R\$ 30.206,92	1	R\$ 5.992,67	2	R\$ 13.994,24	24	R\$ 32.749,79
5	5	R\$ 30.221,78	1	R\$ 5.955,36	2	R\$ 14.072,87	25	R\$ 32.767,20
6	5	R\$ 30.217,82	1	R\$ 5.979,19	2	R\$ 14.024,62	26	R\$ 32.719,64
7	5	R\$ 30.251,91	1	R\$ 5.984,51	2	R\$ 14.065,33	27	R\$ 32.707,32
8	5	R\$ 29.988,33	1	R\$ 5.449,71	2	R\$ 15.638,87	28	R\$ 32.842,20
9	5	R\$ 29.991,37	1	R\$ 5.373,42	2	R\$ 15.658,44	29	R\$ 32.795,00
0	6	R\$ 30.011,29	1	R\$ 5.410,55	2	R\$ 15.609,35	30	R\$ 32.854,91
1	6	R\$ 30.015,86	1	R\$ 5.370,01	2	R\$ 15.632,99	31	R\$ 32.861,30
2	6	R\$ 30.026,17	1	R\$ 5.385,05	2	R\$ 15.661,15	32	R\$ 32.817,75
3	6	R\$ 29.079,91	1	R\$ 4.958,88	2	R\$ 16.659,46	33	R\$ 32.867,93
4	6	R\$ 29.055,11	1	R\$ 4.944,65	2	R\$ 16.494,85	34	R\$ 32.918,94
5	6	R\$ 29.138,82	1	R\$ 4.931,64	2	R\$ 16.457,39	35	R\$ 32.876,80
6	6	R\$ 29.119,76	1	R\$ 4.917,65	2	R\$ 16.494,06	36	R\$ 32.879,66
7	6	R\$ 29.086,93	1	R\$ 4.926,47	2	R\$ 16.496,44	37	R\$ 32.836,01

TABELA 3 – DADOS DE VPL MÉDIO POR DESVIO AZIMUTAL SEM INCLINAÇÃO ÓTIMA

(conclusão)

8	6	R\$ 28.233,24	1	R\$ 4.172,30	2	R\$ 19.886,73	38	R\$ 32.916,79
9	6	R\$ 28.182,71	1	R\$ 4.188,03	2	R\$ 19.858,32	39	R\$ 32.888,39
0	7	R\$ 28.154,59	1	R\$ 4.203,44	2	R\$ 19.817,03	40	R\$ 32.873,99
1	7	R\$ 28.146,76	1	R\$ 4.153,96	2	R\$ 19.826,15	41	R\$ 32.882,50
2	7	R\$ 28.199,52	1	R\$ 4.224,14	2	R\$ 19.851,82	42	R\$ 32.880,94
3	7	R\$ 27.879,09	1	R\$ 3.292,15	2	R\$ 20.532,36	43	R\$ 32.882,35
4	7	R\$ 27.882,21	1	R\$ 3.326,18	2	R\$ 20.544,48	44	R\$ 32.914,90
5	7	R\$ 27.874,69	1	R\$ 3.287,11	2	R\$ 20.513,77	45	R\$ 32.922,65
6	7	R\$ 27.880,88	1	R\$ 3.291,01	2	R\$ 20.622,01	46	R\$ 32.934,72
7	7	R\$ 27.980,30	1	R\$ 3.380,20	2	R\$ 20.549,81	47	R\$ 32.900,01
8	7	R\$ 27.717,14	1	R\$ 2.849,21	2	R\$ 23.469,55	48	R\$ 32.874,06
9	7	R\$ 27.672,73	1	R\$ 2.850,90	2	R\$ 23.416,05	49	R\$ 32.894,63
0	8	R\$ 27.692,10	1	R\$ 2.837,43	2	R\$ 23.385,89	50	R\$ 32.920,61
1	8	R\$ 27.684,50	1	R\$ 2.857,85	2	R\$ 23.371,50	51	R\$ 32.915,20
2	8	R\$ 27.645,42	1	R\$ 2.874,68	2	R\$ 23.439,58	52	R\$ 32.912,65
3	8	R\$ 26.769,20	1	R\$ 2.393,70	2	R\$ 26.174,05	53	R\$ 32.835,48
4	8	R\$ 26.785,48	1	R\$ 2.449,83	2	R\$ 26.182,74	54	R\$ 32.911,08
5	8	R\$ 26.792,22	1	R\$ 2.417,50	2	R\$ 26.139,27	55	R\$ 32.878,13
6	8	R\$ 26.802,50	1	R\$ 2.419,37	2	R\$ 26.136,50	56	R\$ 32.844,06
7	8	R\$ 26.809,35	1	R\$ 2.407,83	2	R\$ 26.160,15	57	R\$ 32.846,03
8	8	R\$ 26.408,86	1	R\$ 2.243,46	2	R\$ 26.643,26	58	R\$ 32.854,78
9	8	R\$ 26.429,78	1	R\$ 2.265,39	2	R\$ 26.621,33	59	R\$ 32.841,86

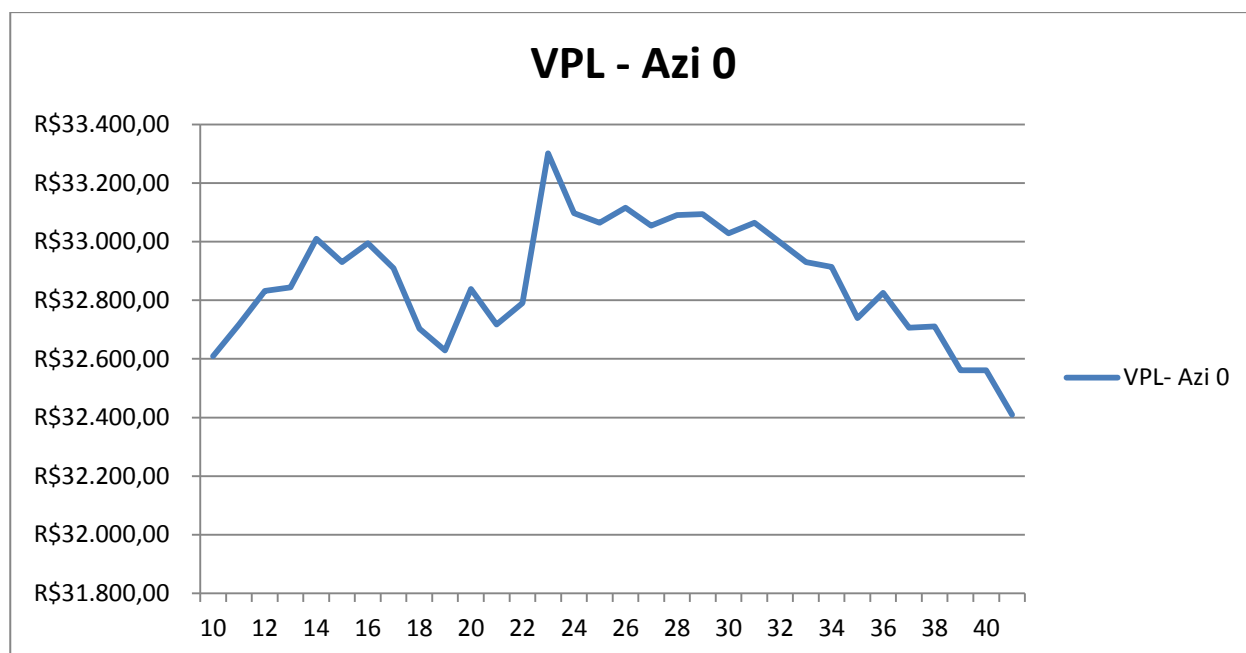
FONTE: O autor (2018)

6.3 INCLINAÇÃO

A próxima variável já foi um pouco explorada na última seção, pois, como já mencionado, inclinação e desvio azimutal estão intimamente ligados. Para esta análise serão analisadas diferentes inclinações para determinados graus de desvio azimutal afim de visualizar as mudanças no VPL causadas por mudanças na inclinação. A inclinação da única face do telhado irá variar de 10° a 41°.

6.3.1 Desvio azimutal 0°

GRÁFICO 15 – VPL NO DESVIO AZIMUTAL 0°



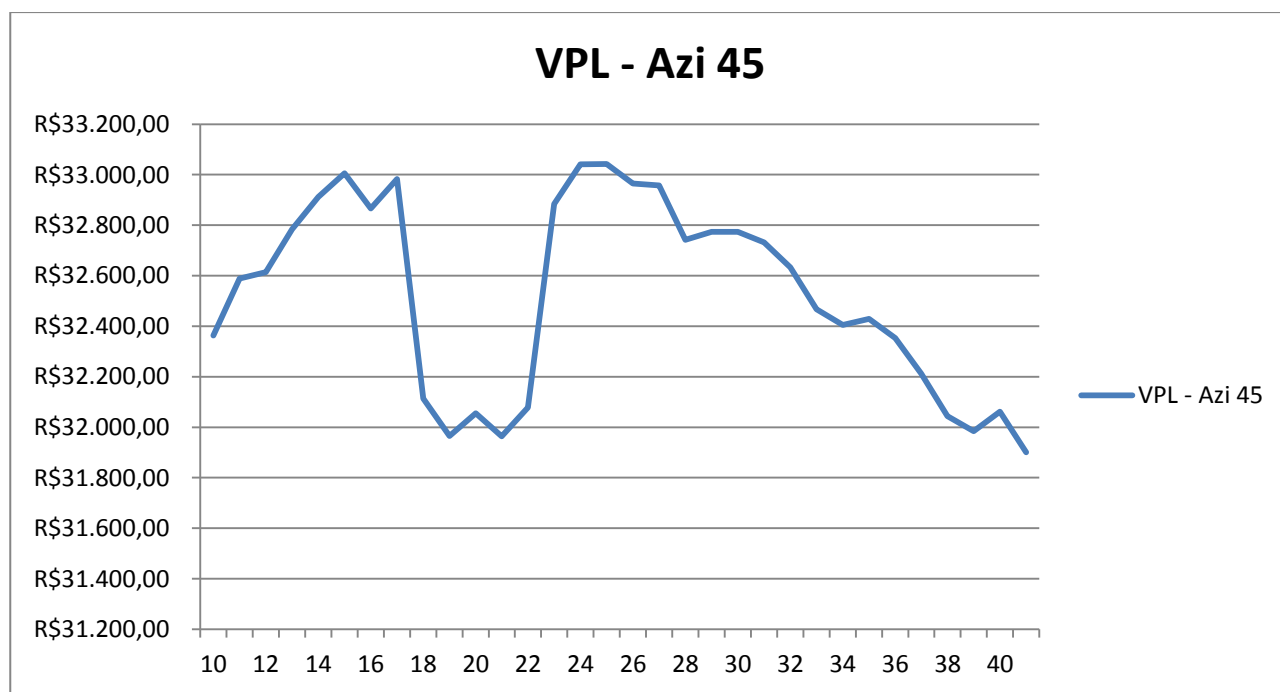
FONTE: O autor (2018)

O gráfico dos valores de VPL com desvio azimutal 0° em diferentes inclinações tem o seu pico na inclinação 23°, que é bem próxima à inclinação ótima, com R\$ 33301,90, e seu ponto mais baixo na inclinação 41°, com R\$ 32.409,32. Houve

duas mudanças no número de painéis, na inclinação 18° e na 23°, começando com 8 painéis, mudando para 9 e retornando para 8.

6.3.2 Desvio azimutal 45°

GRÁFICO 16 – VPL NO DESVIO AZIMUTAL 45°

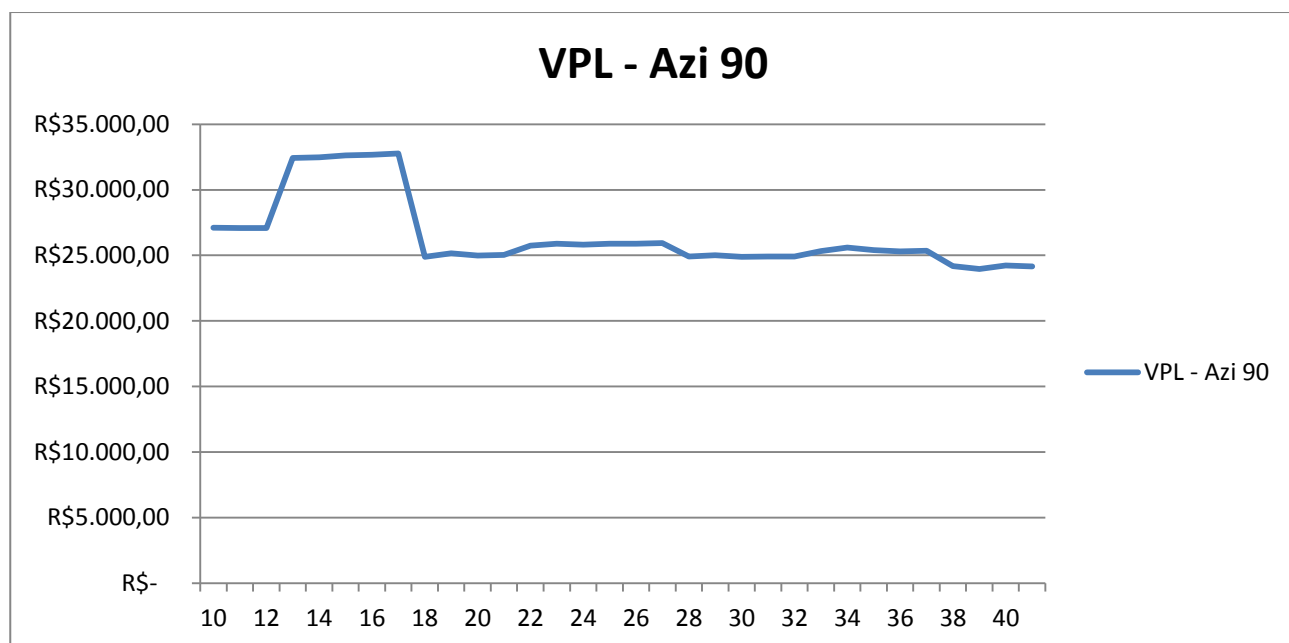


FONTE: O autor (2018)

Para o desvio azimutal 45°, o maior valor de VPL é atingido aos 25°, com R\$ 33.042,77 e o menor, 41° com R\$ 31.900,84. Comparado ao gráfico anterior, a depressão à esquerda é mais profunda no de 45° de desvio azimutal, e a linha é mais suave. Nesta, há apenas uma mudança no número de painéis, na inclinação 18°, passando de oito painéis para nove.

6.3.3 Desvio azimutal 90°

GRÁFICO 17 – VPL NO DESVIO AZIMUTAL 90°

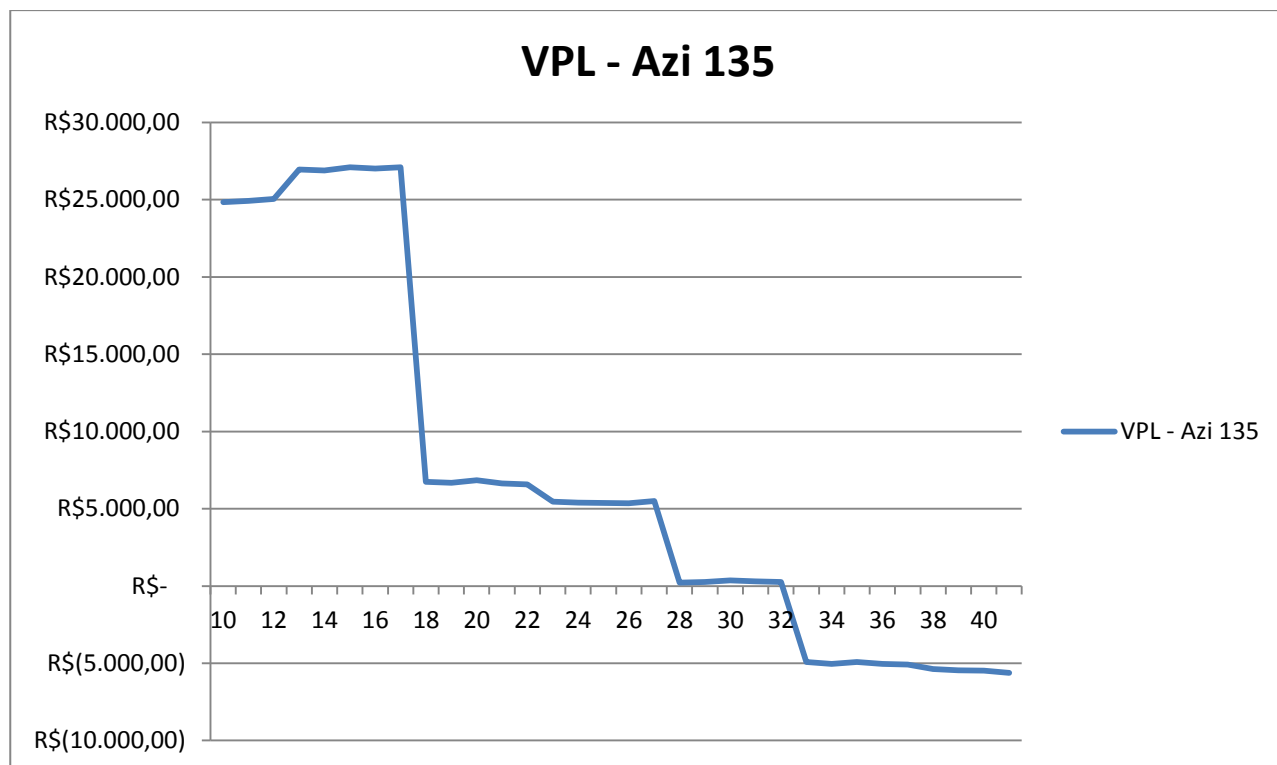


FONTE: O autor (2018)

Para 90° de desvio azimutal, o maior valor veio com 17° de inclinação, R\$ 32.781,86 e o menor com 39°, R\$ 23.959,91. Este desvio azimutal começa com 10 painéis, muda para 11, 12, volta para 11, retoma para 12 e vai aumentado até chegar a 14 painéis, totalizando seis mudanças, nos graus de inclinação 13, 18, 22, 28, 33 e 38. Após a inclinação 18°, a linha é bastante suave com pouca oscilação e segue uma tendência lateral.

6.3.4 Desvio azimutal 135°

GRÁFICO 18 – VPL NO DESVIO AZIMUTAL 135°

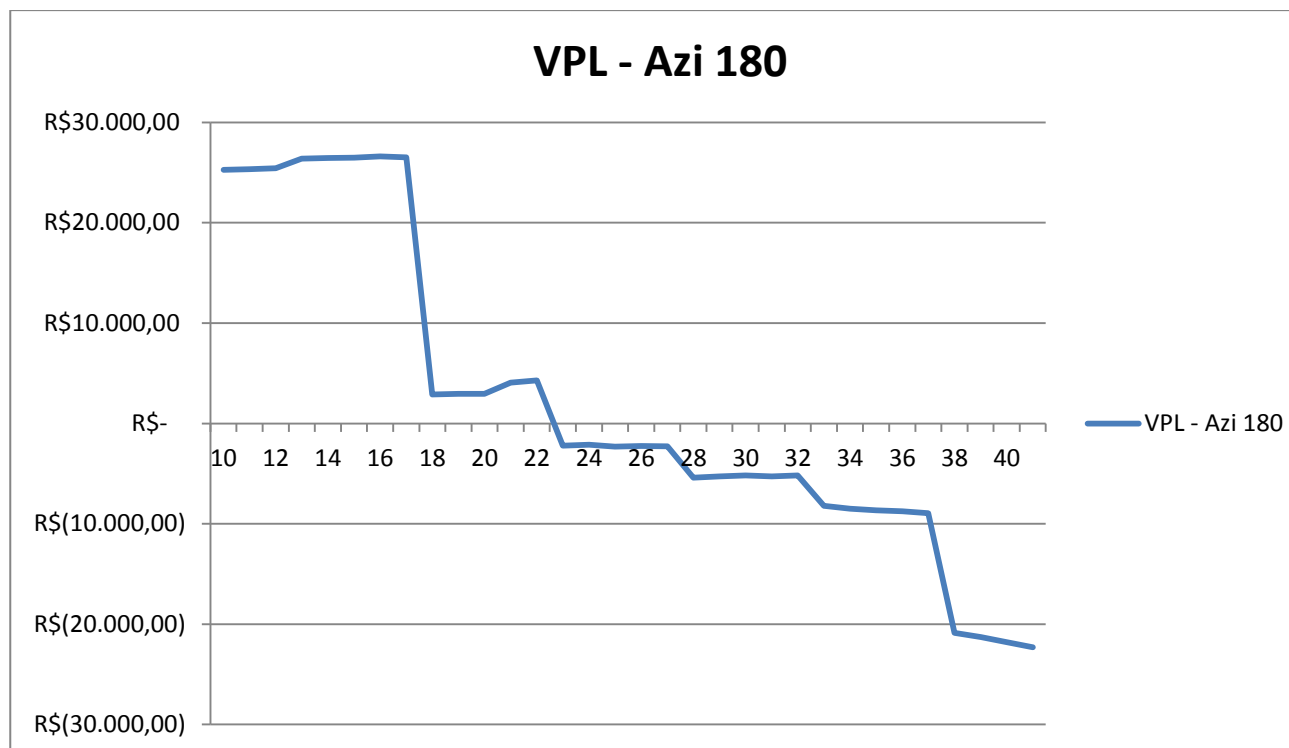


FONTE: O autor (2018)

Com 135° de desvio azimutal, a linha do gráfico fica mais “quadrada”, apresentando quedas mais acintosas e, pela primeira vez, valores negativos de VPL. O maior valor foi com 17°, R\$ 27.104,18 e o menor com 41°, R\$ 5.628,96. As nove mudanças no número de painéis ocorreram nos graus 13, 18, 23, 28, 33, 36, 38, 40 e 41. A grande mudança que é exibida como um grande declive no gráfico é de 17° para 18° e, após isso, há os “degraus” da escada”, embora agora maiores, já que menos valores de inclinação do que de desvio azimutal.

6.3.5 Desvio azimutal 180°

GRÁFICO 19 – VPL NO DESVIO AZIMUTAL 180°

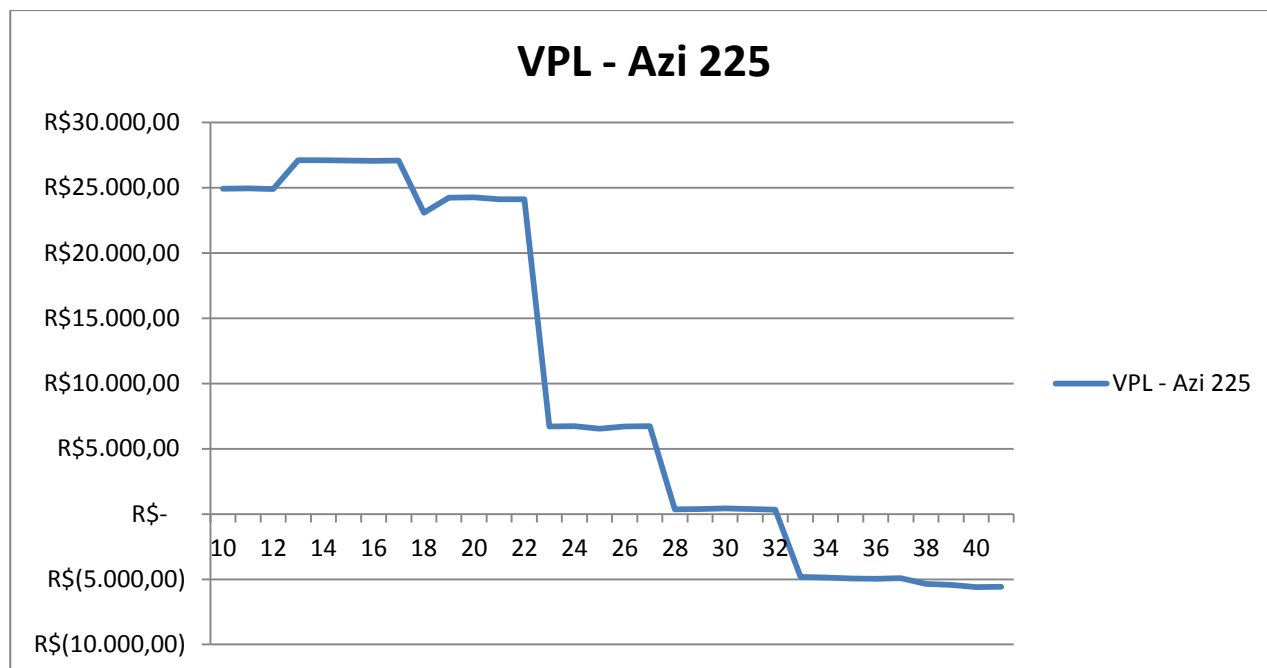


FONTE: O autor (2018)

O gráfico do desvio azimutal 180° é bem parecido com o de 135°, embora com mais “degraus”. O maior valor é R\$ 26.612,41, em 16°, e o menor R\$ 22.314,83 negativos, 41°. Foram doze mudanças no número de painéis, que ocorreram nos graus 13, 18, 21, 23, 28, 33, 36, 37, 38, 39, 40 e 41, um desastre de produção e de VPL. Das 32 inclinações, 19 retornaram valores negativos de VPL.

6.3.6 Desvio azimutal 225°

GRÁFICO 20 – VPL NO DESVIO AZIMUTAL 225°

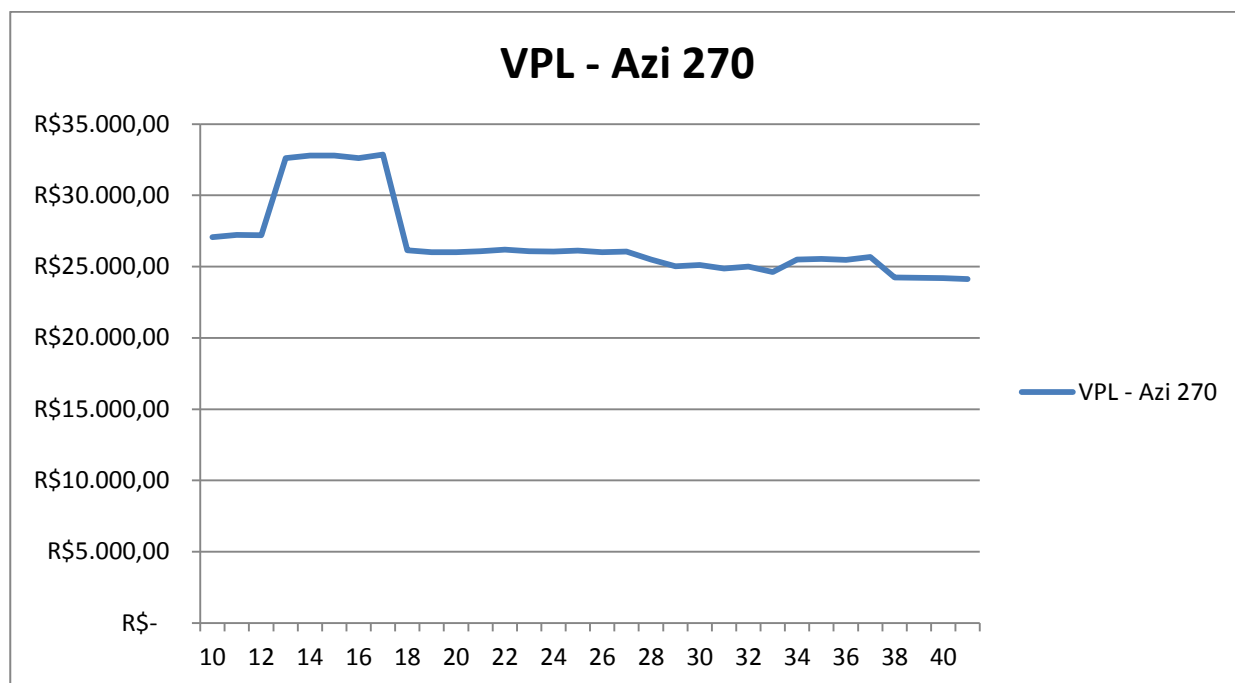


FONTE: O autor (2018)

O gráfico de desvio azimutal 225° também se assemelha aos dois anteriores, porém a primeira parte, antes do “penhasco” é maior. Para este desvio o maior valor é R\$ 27.105,30 com 13° e o menor R\$ 5.605,74 negativos, com 40°. Somam-se nove mudanças no número de painéis. O número de painéis começou com 12, passou por 10, e chegou até a ser 40 necessários, porém o limite para o espaço da face é 25.

6.3.7 Desvio azimutal 270°

GRÁFICO 21 – VPL NO DESVIO AZIMUTAL 270°

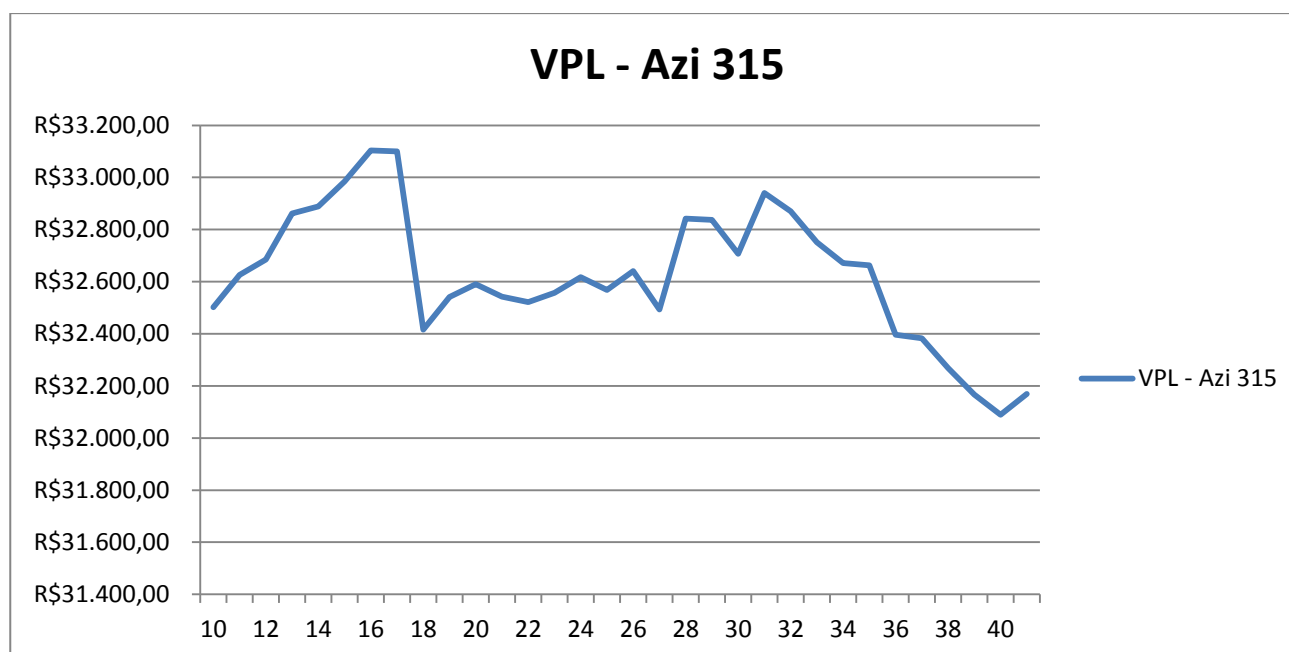


FONTE: O autor (2018)

O gráfico de desvio azimutal 270° é bastante parecido com o de seu reflexo, 90°. Aqui, o maior valor de VPL é R\$ 32.859,74, que ocorre 17° e o menor, R\$ 24.126,01, 41°. Aconteceram cinco mudanças no número de painéis, nos graus 13, 18, 29, 34 e 38. O número de painéis variou de dez a quatorze.

6.3.8 Desvio azimutal 315°

GRÁFICO 22 – VPL NO DESVIO AZIMUTAL 315°



FONTE: O autor (2018)

Por fim, o gráfico de desvio azimuthal 315° se assemelha com os dois primeiros. O maior valor de VPL se dá aos 16°, R\$ 33.103,67 e o menor aos R\$ 32.089,86, com 3 mudanças de número de painéis: 18°, 23° e 28°.

6.3.9 Detalhes sobre os desvios azimuthais

TABELA 4 – DETALHES DE VPL POR DESVIO AZIMUTAL (0° a 135°)

	0	45	90	135
Maior VPL	R\$ 33.301,90	R\$ 33.042,77	R\$ 32.781,86	R\$ 27.104,18
Menor VPL	R\$ 32.409,32	R\$ 31.900,84	R\$ 23.959,91	-R\$ 5.628,96
Média VPL	R\$ 32.868,45	R\$ 32.521,63	R\$ 26.487,04	R\$ 7.025,68
VPL Negativo %	0%	0%	0%	28%
Acima de R\$ 30 mil %	100%	100%	16%	0%
Primeira mudança	18	18	13	13
Última mudança	23	18	38	41
Número de mudanças	2	1	6	9

FONTE: O autor (2018)

TABELA 5 – DETALHES DE VPL POR DESVIO AZIMUTAL (180° a 315°)

	180	225	270	315
Maior VPL	R\$ 26.612,41	R\$ 27.105,30	R\$ 32.859,74	R\$ 33.103,67
Menor VPL	-R\$ 22.314,83	-R\$ 5.605,74	R\$ 24.126,01	R\$ 32.089,86
Média VPL	R\$ 1.841,58	R\$ 9.960,72	R\$ 26.718,74	R\$ 32.624,84
VPL Negativo %	59%	28%	0%	0%
Acima de R\$ 30 mil %	0%	0%	16%	100%
Primeira mudança	13	13	13	18
Última mudança	41	40	38	28
Número de mudanças	12	9	5	3

FONTE: O autor (2018)

6.3.10 Melhor e pior inclinação

O maior VPL, como era de se esperar, ocorreu no desvio azimutal 0, que também possui o mais alto menor valor de VPL, e a maior média. O menor valor, também esperado, ocorreu em 180°. Cinco desvios não possuem nenhum valor negativo de VPL sequer: 0°, 45°, 90°, 270° e 315°, enquanto o pior valor neste quesito ficou com o desvio 180°. Nas mudanças, destaque para o desvio 45°, que possui apenas uma mudança, que ocorreu na inclinação de 45°.

TABELA 6 – VPL POR INCLINAÇÃO POR DESVIO AZIMUTAL (0° a 135°)

(continua)

	0	45	90	135
	R\$	R\$	R\$	R\$
10	32.609,49	32.362,77	27.108,85	24.835,23
	R\$	R\$	R\$	R\$
11	32.717,30	32.588,08	27.092,71	24.917,77
	R\$	R\$	R\$	R\$
12	32.831,87	32.613,87	27.074,38	25.034,69
	R\$	R\$	R\$	R\$
13	32.843,83	32.783,32	32.433,94	26.945,75
	R\$	R\$	R\$	R\$
14	33.010,07	32.911,74	32.479,82	26.895,83
	R\$	R\$	R\$	R\$
15	32.930,19	33.006,15	32.619,44	27.086,19
	R\$	R\$	R\$	R\$
16	32.994,88	32.865,81	32.667,48	27.011,88
	R\$	R\$	R\$	R\$
17	32.909,42	32.982,41	32.781,86	27.104,18
	R\$	R\$	R\$	R\$
18	32.702,94	32.113,44	24.892,50	6.733,65
	R\$	R\$	R\$	R\$
19	32.629,03	31.964,96	25.148,65	6.668,96
	R\$	R\$	R\$	R\$
20	32.838,97	32.055,76	24.975,08	6.835,08
	R\$	R\$	R\$	R\$
21	32.717,50	31.964,29	25.029,93	6.630,53
	R\$	R\$	R\$	R\$
22	32.789,95	32.077,98	25.736,09	6.579,66
	R\$	R\$	R\$	R\$
23	33.301,90	32.883,98	25.877,65	5.454,22

TABELA 6 – VPL POR INCLINAÇÃO POR DESVIO AZIMUTAL (0° a 135°)

(conclusão)

24	R\$ 33.097,03	R\$ 33.041,20	R\$ 25.827,45	R\$ 5.385,06
25	R\$ 33.064,21	R\$ 33.042,77	R\$ 25.884,59	R\$ 5.376,81
26	R\$ 33.115,68	R\$ 32.965,41	R\$ 25.885,87	R\$ 5.362,33
27	R\$ 33.055,15	R\$ 32.957,48	R\$ 25.937,11	R\$ 5.493,22
28	R\$ 33.090,63	R\$ 32.741,49	R\$ 24.901,58	R\$ 215,46
29	R\$ 33.094,33	R\$ 32.773,47	R\$ 25.013,79	R\$ 267,20
30	R\$ 33.028,47	R\$ 32.773,78	R\$ 24.901,10	R\$ 358,98
31	R\$ 33.064,07	R\$ 32.731,40	R\$ 24.901,70	R\$ 306,24
32	R\$ 32.997,94	R\$ 32.632,59	R\$ 24.915,92	R\$ 268,69
33	R\$ 32.929,76	R\$ 32.467,34	R\$ 25.322,99	-R\$ 4.921,21
34	R\$ 32.913,53	R\$ 32.404,88	R\$ 25.584,80	-R\$ 5.032,51
35	R\$ 32.738,71	R\$ 32.429,03	R\$ 25.390,50	-R\$ 4.913,23
36	R\$ 32.825,45	R\$ 32.353,34	R\$ 25.307,67	-R\$ 5.043,00
37	R\$ 32.705,88	R\$ 32.212,07	R\$ 25.356,65	-R\$ 5.087,01
38	R\$ 32.710,49	R\$ 32.044,30	R\$ 24.190,51	-R\$ 5.380,99
39	R\$ 32.561,13	R\$ 31.984,14	R\$ 23.959,91	-R\$ 5.457,48
40	R\$ 32.561,16	R\$ 32.061,97	R\$ 24.219,20	-R\$ 5.481,51
41	R\$ 32.409,32	R\$ 31.900,84	R\$ 24.165,54	-R\$ 5.628,96

FONTE: O autor (2018)

TABELA 7 – VPL POR INCLINAÇÃO POR DESVIO AZIMUTAL (180° a 316°)

(continua)

	180	225	270	315
10	R\$ 25.271,48	R\$ 24.910,94	R\$ 27.069,33	R\$ 32.501,37
11	R\$ 25.327,21	R\$ 24.941,32	R\$ 27.227,06	R\$ 32.625,87
12	R\$ 25.439,65	R\$ 24.900,90	R\$ 27.195,20	R\$ 32.684,58
13	R\$ 26.380,74	R\$ 27.105,25	R\$ 32.603,02	R\$ 32.861,29
14	R\$ 26.447,60	R\$ 27.105,30	R\$ 32.789,77	R\$ 32.889,04
15	R\$ 26.492,69	R\$ 27.085,95	R\$ 32.798,04	R\$ 32.984,42
16	R\$ 26.612,41	R\$ 27.061,57	R\$ 32.606,44	R\$ 33.103,67
17	R\$ 26.514,31	R\$ 27.079,76	R\$ 32.859,74	R\$ 33.100,35
18	R\$ 2.878,58	R\$ 23.077,09	R\$ 26.143,14	R\$ 32.415,39
19	R\$ 2.958,48	R\$ 24.227,94	R\$ 26.006,49	R\$ 32.541,03
20	R\$ 2.949,67	R\$ 24.250,05	R\$ 26.020,27	R\$ 32.590,88
21	R\$ 4.083,00	R\$ 24.112,23	R\$ 26.078,85	R\$ 32.542,31
22	R\$ 4.278,25	R\$ 24.111,02	R\$ 26.186,06	R\$ 32.521,07

TABELA 7 – VPL POR INCLINAÇÃO POR DESVIO AZIMUTAL (180° a 316°)

(conclusão)

23	-R\$ 2.210,67	R\$ 6.703,92	R\$ 26.084,06	R\$ 32.557,01
24	-R\$ 2.133,51	R\$ 6.720,50	R\$ 26.057,86	R\$ 32.617,10
25	-R\$ 2.319,89	R\$ 6.535,02	R\$ 26.127,04	R\$ 32.567,70
26	-R\$ 2.237,06	R\$ 6.714,00	R\$ 26.024,24	R\$ 32.641,32
27	-R\$ 2.262,27	R\$ 6.724,34	R\$ 26.052,35	R\$ 32.493,88
28	-R\$ 5.392,93	R\$ 355,29	R\$ 25.507,04	R\$ 32.841,93
29	-R\$ 5.259,74	R\$ 377,15	R\$ 25.018,36	R\$ 32.837,66
30	-R\$ 5.182,78	R\$ 438,54	R\$ 25.108,65	R\$ 32.706,91
31	-R\$ 5.269,89	R\$ 378,40	R\$ 24.873,06	R\$ 32.940,00
32	-R\$ 5.168,84	R\$ 335,11	R\$ 24.995,34	R\$ 32.870,08
33	-R\$ 8.220,60	-R\$ 4.815,34	R\$ 24.630,57	R\$ 32.750,74
34	-R\$ 8.484,44	-R\$ 4.876,55	R\$ 25.488,62	R\$ 32.671,01
35	-R\$ 8.652,57	-R\$ 4.931,70	R\$ 25.534,93	R\$ 32.663,36
36	-R\$ 8.747,42	-R\$ 4.974,15	R\$ 25.483,05	R\$ 32.396,69
37	-R\$ 8.934,70	-R\$ 4.925,77	R\$ 25.674,99	R\$ 32.382,68
38	-R\$ 20.851,84	-R\$ 5.359,97	R\$ 24.229,58	R\$ 32.269,12
39	-R\$ 21.281,77	-R\$ 5.438,42	R\$ 24.213,35	R\$ 32.166,86
40	-R\$ 21.777,70	-R\$ 5.605,74	R\$ 24.187,22	R\$ 32.089,86
41	-R\$ 22.314,83	-R\$ 5.580,78	R\$ 24.126,01	R\$ 32.169,58

FONTE: O autor (2018)

A inclinação com o maior média de VPL foi 17°, com R\$ 31.444,47 e a pior, 36° com R\$ 10.804,18. O maior valor de todos foi R\$ 33.301,90 na inclinação 23°, enquanto que o menor foi R\$ 22.314,83 negativos, na inclinação 41°.

6.4 TIPO DE CONEXÃO COPEL

Agora serão analisados os tipos de conexão copel, trifásica e bifásica. A conexão monofásica não permite a instalação de um sistema fotovoltaico, se uma residência possuir conexão monofásica, é necessário que seu proprietário peça alteração de conexão para a Copel antes de instalar os painéis, portanto ela não será analisada. Foram combinados 3 diferentes inclinações e 4 diferentes desvios azimutais, gerando 12 combinações diferentes, resumidas na tabela abaixo.

TABELA 8 – COMPARAÇÃO ENTRE CONEXÕES BIFÁSICA E TRIFÁSICA

Inclinação	Azimute	VPL		Número de painéis	
		Bifásica	Trifásica	Bifásica	Trifásica
1	0	R\$ 39.504,81	R\$ 32.752,54	9	8
1	30	R\$ 34.171,03	R\$ 27.038,00	11	10
1	60	R\$ 32.136,47	R\$ 25.315,87	15	13
1	90	R\$ 34.400,90	R\$ 27.231,48	11	10
4	0	R\$ 40.175,11	R\$ 33.062,81	9	8
4	30	R\$ 33.042,54	R\$ 25.858,87	12	11
4	60	R\$ 4.924,77	-R\$ 2.163,77	25	23
4	90	R\$ 33.356,53	R\$ 26.028,34	12	11
7	0	R\$ 39.583,25	R\$ 32.839,54	9	8
7	30	R\$ 32.181,06	R\$ 25.315,06	15	13
7	60	-R\$ 4.714,76	-R\$ 8.933,12	25	25
7	90	R\$ 32.372,63	R\$ 25.388,52	15	13

FONTE: O autor (2018)

Em 11 dos 12 casos, o número de painéis em uma conexão trifásica é menor do que em uma bifásica, com exceção da combinação de inclinação 37° e desvio azimutal 180°, pois o espaço da face do telhado limita o número de painéis a 25, deixando as duas conexões com a mesma quantidade. Em todas as combinações, a conexão trifásica apresentou um VPL menor do que o da bifásica. A razão destes dois fatos está na taxa mínima estipulada pela Copel. A companhia de energia estipula que uma conexão bifásica deve pagar uma taxa de pelos 50 kWh por mês e uma trifásica, 100 kWh. Isso faz com que a faixa de consumo que pode ser reduzida é menor na conexão trifásica do que na conexão bifásica, precisando de menos painéis por consequência. Mas como a quantidade de consumo que pode ser reduzida é menor, uma maior parte terá que ser paga, ao invés de produzida pelos painéis, encarecendo a tarifa e diminuindo o VPL.

6.5 BASE DE DADOS DE IRRADIAÇÃO

Agora são analisados os impactos de escolher diferentes bases de dados de irradiação nos resultados de VPL. As opções são : atlas solar, nasa mínima, nada média e nasa máxima.

TABELA 9 – COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES BASES DE DADOS DE IRRADIAÇÃO

(continua)

Inclinação	Azimute	VPL			
		Atlas Solar	Nasa Mínima	Nasa Média	Nasa Máxima
11	0	R\$ 33.076,40	R\$ 22.311,18	R\$ 30.811,57	R\$ 32.873,15
11	90	R\$ 26.632,73	R\$ 22.778,97	R\$ 25.208,11	R\$ 27.126,24
11	180	R\$ 23.386,35	R\$ 3.350,99	R\$ 22.842,08	R\$ 25.246,64
11	270	R\$ 26.763,79	R\$ 23.025,82	R\$ 25.554,23	R\$ 27.079,24
24	0	R\$ 33.441,95	R\$ 22.946,17	R\$ 31.367,76	R\$ 33.167,25
24	90	R\$ 25.507,38	R\$ 21.331,60	R\$ 24.108,23	R\$ 25.860,64
24	180	-R\$ 4.838,19	-R\$ 5.970,68	-R\$ 4.888,93	-R\$ 2.202,97

TABELA 9 – COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES BASES DE DADOS DE IRRADIAÇÃO

(conclusão)

24	270	R\$ 25.474,17	R\$ 21.666,24	R\$ 24.264,99	R\$ 26.131,07
37	0	R\$ 33.153,36	R\$ 22.339,98	R\$ 30.774,93	R\$ 32.818,96
37	90	R\$ 23.406,06	R\$ 3.219,91	R\$ 22.846,16	R\$ 25.135,67
37	180	-R\$ 10.704,58	-R\$ 21.130,76	-R\$ 13.334,61	-R\$ 8.932,00
37	270	R\$ 24.712,70	R\$ 3.417,77	R\$ 22.924,15	R\$ 25.282,91
	Média	R\$ 21.667,68	R\$ 11.607,27	R\$ 20.206,56	R\$ 22.465,56

FONTE: O autor (2018)

Em todas as combinações, a escolha da base de dados do Atlas Solar resultou num VPL maior do que a base de dados de média de irradiação da Nasa. Para se analisar com maior segurança, a escolha de “Nasa Mínima” é a opção mais adequada. O cenário mais otimista pode ser visualizado com “Nasa Máxima”, que é quase que o dobro de “Nasa Mínima”. O maior valor foi R\$ 33.441,95, com uma inclinação de 24° e 0° de desvio azimutal com a base de dados do Atlas Solar, surpreendentemente maior que ao VPL com “Nasa Máxima” nas mesmas condições. O menor valor foi R\$ 21.130,76 negativos, com 37° graus de inclinação e desvio azimutal de 180° usando a base de dados de irradiação “Nasa Mínima”.

TABELA 10 – COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES BASES DE DADOS DE IRRADIAÇÃO – NÚMERO DE PAINÉIS

(continua)

Inclinação	Azimute	Número de painéis			
		Atlas Solar	Nasa Mínima	Nasa Média	Nasa Máxima
11	0	9	11	9	8
11	90	11	13	11	10
11	180	15	18	15	13
11	270	11	13	11	10
24	0	9	11	9	8
24	90	12	15	12	11

TABELA 10 – COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES BASES DE DADOS DE IRRADIAÇÃO – NÚMERO DE PAINÉIS

(conclusão)

24	180	25	25	25	23
24	270	12	14	12	11
37	0	9	11	9	8
37	90	15	18	15	13
37	180	25	25	25	25
37	270	14	18	15	13
	Média	13,92	16,00	14,00	12,75

FONTE: O autor (2018)

Quanto ao número de painéis, a “Nasa Máxima” apresentou o menor valor médio, enquanto que o maior foi com “Nasa Mínima”. O menor valor, oito painéis, aconteceu três vezes na base de dados “Nasa Máxima”, e o maior valor aconteceu em todas as bases de dados, 25, o limite para o tamanho da face. A diferença entre “Atlas Solar” e “Nasa Média” é mínima, apresentando diferença apenas em uma combinação, 37° de inclinação e 270° de desvio azimutal.

6.6 OPÇÕES DE PAGAMENTO

As 16 opções de pagamento são analisadas a seguir em 12 combinações de desvio azimutal e inclinação, com a base de dados “Nasa Média”.

TABELA 11 – COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES OPÇÕES DE PAGAMENTO

Inclinação	11	11	11	11	24	24
Azimute	0	90	180	270	0	90
Banco Santander 12X	R\$ 30.674,07	R\$ 25.174,54	R\$ 22.978,47	R\$ 25.433,40	R\$ 31.494,42	R\$ 24.190,85
Banco Santander 24X	R\$ 28.690,29	R\$ 22.371,21	R\$ 19.619,72	R\$ 22.535,06	R\$ 29.348,79	R\$ 21.141,68
Banco Santander 36X	R\$ 26.325,79	R\$ 19.182,48	R\$ 15.849,30	R\$ 19.312,45	R\$ 26.785,50	R\$ 17.711,80
BV Financeira 12X	R\$ 31.154,66	R\$ 25.540,16	R\$ 23.196,33	R\$ 25.848,63	R\$ 31.600,92	R\$ 24.473,03
BV Financeira 24X	R\$ 29.548,84	R\$ 23.349,97	R\$ 20.666,17	R\$ 23.597,21	R\$ 29.940,34	R\$ 22.170,75
BV Financeira 36X	R\$ 27.764,30	R\$ 21.167,21	R\$ 18.204,24	R\$ 21.337,08	R\$ 28.240,28	R\$ 19.768,78
BV Financeira 48X	R\$ 26.000,94	R\$ 18.717,90	R\$ 15.450,45	R\$ 18.803,32	R\$ 26.520,01	R\$ 17.238,36
BV Financeira 60X	R\$ 24.260,75	R\$ 16.385,61	R\$ 12.799,57	R\$ 16.423,31	R\$ 24.874,27	R\$ 14.739,25
À Vista	R\$ 32.873,79	R\$ 27.860,00	R\$ 25.648,36	R\$ 27.978,10	R\$ 33.268,02	R\$ 26.857,18
Cartão 6X	R\$ 32.396,75	R\$ 27.392,11	R\$ 25.012,06	R\$ 27.435,30	R\$ 32.955,72	R\$ 26.265,63

FONTE: O autor (2018)

TABELA 12 – COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES OPÇÕES DE PAGAMENTO 2

Boleto 40% Ent + 3X	R\$ 25.354,02	R\$ 18.029,89	R\$ 14.435,07	R\$ 18.161,18	R\$ 25.946,81	R\$ 16.400,16
Santander Entr + 4X	R\$ 28.041,94	R\$ 23.175,22	R\$ 21.073,24	R\$ 23.332,69	R\$ 28.545,26	R\$ 22.109,47
Santander Entr + 12X	R\$ 26.939,73	R\$ 21.714,02	R\$ 19.420,94	R\$ 21.818,83	R\$ 27.381,84	R\$ 20.686,98
Santander Entr + 18X	R\$ 25.835,26	R\$ 20.307,74	R\$ 17.789,73	R\$ 20.349,15	R\$ 26.338,75	R\$ 19.049,36
Santander Entr + 24X	R\$ 24.813,28	R\$ 18.892,75	R\$ 16.408,30	R\$ 19.113,93	R\$ 25.521,51	R\$ 17.802,79
Santander Entr + 36X	R\$ 22.563,51	R\$ 15.828,80	R\$ 12.681,36	R\$ 16.023,28	R\$ 23.098,04	R\$ 14.443,77

FONTE: O autor (2018)

TABELA 13 – COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES OPÇÕES DE PAGAMENTO 2

Inclinação	24	24	37	37	37	37
Azimute	180	270	0	90	180	270
Banco Santander 12X	-R\$ 4.846,04	R\$ 24.209,61	R\$ 30.858,23	R\$ 22.819,80	-R\$ 13.257,69	R\$ 22.758,33
Banco Santander 24X	-R\$ 10.869,71	R\$ 21.345,22	R\$ 28.832,41	R\$ 19.604,40	-R\$ 19.367,90	R\$ 19.758,61
Banco Santander 36X	-R\$ 17.918,86	R\$ 17.790,49	R\$ 26.332,36	R\$ 15.835,31	-R\$ 26.392,60	R\$ 16.082,80
BV Financeira 12X	-R\$ 4.230,96	R\$ 24.489,84	R\$ 31.008,22	R\$ 23.296,65	-R\$ 12.503,62	R\$ 23.318,81
BV Financeira 24X	-R\$ 8.711,90	R\$ 22.405,60	R\$ 29.493,16	R\$ 20.913,87	-R\$ 17.202,31	R\$ 20.869,05
BV Financeira 36X	-R\$ 13.785,54	R\$ 19.856,09	R\$ 27.761,10	R\$ 18.179,23	-R\$ 22.072,78	R\$ 18.221,66
BV Financeira 48X	-R\$ 18.773,26	R\$ 17.523,20	R\$ 26.094,74	R\$ 15.566,85	-R\$ 27.160,27	R\$ 15.551,37
BV Financeira 60X	-R\$ 24.034,54	R\$ 14.832,54	R\$ 24.357,02	R\$ 12.723,00	-R\$ 32.375,32	R\$ 12.764,96
À Vista	R\$ 847,74	R\$ 27.125,07	R\$ 32.701,18	R\$ 25.832,85	-R\$ 7.604,63	R\$ 25.981,94
Cartão 6X	-R\$ 470,38	R\$ 26.556,90	R\$ 32.407,15	R\$ 25.165,58	-R\$ 8.893,47	R\$ 25.269,81
Boleto 40% Ent + 3X	-R\$ 20.459,25	R\$ 16.591,32	R\$ 25.555,91	R\$ 14.701,81	-R\$ 28.804,63	R\$ 14.606,54
Santander Entr + 4X	-R\$ 3.507,08	R\$ 22.435,57	R\$ 28.005,70	R\$ 21.163,12	-R\$ 12.014,03	R\$ 21.244,59
Santander Entr + 12X	-R\$ 6.857,82	R\$ 20.716,63	R\$ 26.994,07	R\$ 19.482,41	-R\$ 15.284,90	R\$ 19.571,05
Santander Entr + 18X	-R\$ 10.008,79	R\$ 19.259,51	R\$ 25.795,48	R\$ 17.803,96	-R\$ 18.199,45	R\$ 17.946,19
Santander Entr + 24X	-R\$ 12.639,93	R\$ 17.856,13	R\$ 24.844,94	R\$ 16.376,25	-R\$ 20.975,89	R\$ 16.504,02
Santander Entr + 36X	-R\$ 19.378,99	R\$ 14.655,09	R\$ 22.646,40	R\$ 12.727,88	-R\$ 27.636,03	R\$ 12.827,88

FONTE: O autor (2018)

O maior valor encontrado foi R\$ 33.268,02, com 24° de inclinação, 0° de desvio azimutal, na opção de pagamento à vista. O menor valor foi R\$ 32.375,32 negativos, com 37° de inclinação e 180° de desvio azimutal na opção BV Financeira 60X. Para todas as combinações de inclinação e desvio azimutal, a melhor opção (a com maior VPL) é “À Vista”, o que faz sentido já que não há taxas de juros. Inclusive, esta é a única opção que resulta numa VPL positivo com 24° de inclinação e 180° de desvio azimutal. Porém a escolha da opção de pagamento depende das

disponibilidades do proprietário do imóvel. Em 4 das 12 combinações, a opção com menor VPL foi “BV Financeira 60X”, e nas outras 8 foi “Santander Entrada + 36X”. A tabela abaixo exhibe as médias de VPL para cada opção de pagamento. “À vista” foi a melhor opção. Três outras opções ficaram acima de R\$ 20.000,00: “Banco Santander 12X”, “BV Financeira 12X” e “Cartão 6X”. Curiosamente, a opção do Banco Santander com entrada e 12 parcelas é pior do que a sem entrada. As três piores opções foram “BV Financeira 60X”, “Santander Entrada + 36X” e “Boleto 40% de entrada + 3X”.

TABELA 14 – MÉDIA DE VPL POR OPÇÃO DE PAGAMENTO

Banco Santander 12X	R\$ 20.207,33
Banco Santander 24X	R\$ 16.917,48
Banco Santander 36X	R\$ 13.074,73
BV Financeira 12X	R\$ 20.599,39
BV Financeira 24X	R\$ 18.086,73
BV Financeira 36X	R\$ 15.386,81
BV Financeira 48X	R\$ 12.627,80
BV Financeira 60X	R\$ 9.812,53
À Vista	R\$ 23.280,80
Cartão 6X	R\$ 22.624,43
Boleto 40% Ent + 3X	R\$ 11.709,90
Santander Entr + 4X	R\$ 18.633,81
Santander Entr + 12X	R\$ 16.881,98
Santander Entr + 18X	R\$ 15.188,91
Santander Entr + 24X	R\$ 13.709,84
Santander Entr + 36X	R\$ 10.040,08

FONTE: O autor (2018)

6.7 SENSIBILIDADE COM SOLVER

Nesta seção serão analisados diferentes configurações utilizando a solução “Solver” do Excel. Neste modo, ao invés de tentar compensar o consumo, a planilha irá buscar maximizar o VPL para cada situação. Para isto foram usados os seguintes dados: base de dados de irradiação Nasa Média, conexão trifásica, inflação de tarifa média IPCA 5 anos, opção de pagamento do Banco Santander, entrada e 36 parcelas, apenas uma face de telhado com 50 m². A TABELA 13 exibe os dados de VPL cada configuração de inclinação e desvio azimutal, enquanto a TABELA 14 exibe os número de painéis para as mesmas configurações.

TABELA 13 – VPL POR CONFIGURAÇÃO - SOLVER

	11	16	21	26	31	36	41
	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
	17.639,79	17.876,57	16.898,03	17.904,17	17.841,69	17.618,76	17.181,41
5	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
	17.244,22	17.807,02	16.672,88	17.171,17	16.828,60	16.573,54	16.539,41
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
	16.394,82	16.657,05	15.518,27	15.842,57	15.547,73	14.594,24	13.068,08
35	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	
	15.222,64	16.386,75	11.930,44	11.237,94	7.940,55	736,04	-
80	-	R\$	-	R\$	-	-	-
		16.173,80		6.921,49			
25	-	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	-
		16.345,07	13.091,48	11.215,57	7.841,15	2.631,09	
70	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
	16.443,31	16.977,88	16.113,30	16.027,51	15.531,60	14.797,57	13.303,85
15	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
	17.503,97	17.785,52	16.616,75	17.277,11	16.892,52	17.167,86	16.669,80

FONTE: O autor (2018)

TABELA 14 – NÚMERO DE PAINÉIS POR CONFIGURAÇÃO – SOLVER

(continua)

	11	16	21	26	31	36	41
0	10	10	11	10	10	10	10
45	10	10	13	10	11	13	13
90	13	13	13	13	13	13	13
135	13	13	14	14	15	13	0
180	0	13	0	15	0	0	0

TABELA 15 – NÚMERO DE PAINÉIS POR CONFIGURAÇÃO – SOLVER

(conclusão)

225	0	13	13	13	14	14	0
270	13	11	13	13	13	13	13
315	10	10	13	10	11	13	13

FONTE: O autor (2018)

O maior valor de VPL foi R\$ 17.904,17 com 26° de inclinação e 0° de desvio azimutal, e 10 painéis. Possível notar em ambas as tabelas que em algumas configurações o melhor é não instalar o sistema fotovoltaico, sendo: 11° de inclinação e 180° e 225° de desvio azimutal; 21° de inclinação e 180° de desvio azimutal; 31° de inclinação e 180° de desvio azimutal; 36° de inclinação e 180° de desvio azimutal; 41° de inclinação e 135°, 180° e 225° de desvio azimutal. O maior número de painéis, 15, é reposta de duas configurações: 26° de inclinação e 180° de desvio azimutal; e 31° de inclinação e 135° de desvio azimutal.

7 CONCLUSÕES

Após todas as análises, é possível afirmar que a instalação de um sistema fotovoltaico em uma residência de Curitiba é economicamente viável na maior parte das situações. As variáveis que mais impactam no VPL são inclinação e desvio azimutal. Deve-se evitar inclinações superiores a 30° e desvio azimutais entre 135° e 225° . Quanto às opções de pagamento, quanto menos parcelas, melhor, sendo que a opção mais viável é pagar à vista. Um tipo de conexão copel bifásica é a que permite melhores índices de VPL, mesmo que com mais painéis no sistema em comparação a uma conexão trifásica. Para um desempenho superior, deve-se buscar uma inclinação entre 17° e 26° e um desvio azimutal mais próximo de 0° ou 359° .

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA GESTÃO CT&I. Inovacare Solar. **Principal desafio da energia solar é político, afirmam especialistas**. Disponível em: < <http://www.inovacare.solar/o-setor-fotovoltaico/principal-desafio-da-energia-solar-e-politico-afirmam-especialistas/9%2027/02/9>> . Acesso em: 27 fev. 2018.

ALL-AERO. **Mauro Solar Riser**. Disponível em: < <http://all-aero.com/index.php/home2/6562-mauro-solar-riser>> . Acesso em: 23 abr. 2018.

AQUESOL. **Reservatório Térmico Aquesol**. Disponível em: < http://www.aquesol.com/produtos/0,4536_reservatorio-termico-aquesol-reservatorio-de-agua-quente-para-aquecimento-solar> . Acesso em: 22 mar. 2018.

ATP SOLAR. **Países líderes em energia solar: confira agora a lista!**. Disponível em: < <http://www.atpsolar.com.br/lista-dos-5-paises-lideres-em-energia-solar/>> . Acesso em: 20 mar. 2018.

AUDI, Amanda. Gazeta do Povo. **Curitiba tem menos dias de sol que NY, Londres, Berlim e Praga**. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/curitiba/curitiba-tem-menos-dias-de-sol-que-ny-londres-berlim-e-praga-97wqsyff1z08plr9sby7v0i6>> . Acesso em: 4 mai. 2018.

BARATTO, R. Arch Daily. **Primeira ciclovia solar do mundo gera mais energia que o previsto**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/781094/primeira-cicloviasolar-do-mundo-gera-mais-energia-que-o-previsto>> . Acesso em: 28 abr. 2018.

BARBOSA, Vanessa. Exame. **Energia solar empresa duas vezes mais que carvão nos EUA**. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/economia/energia-solar-emprega-duas-vezes-mais-que-carvao-nos-eua/>> . Acesso em: 20 mar. 2018.

BARBOSA, Vanessa. **China mpulsiona expansão da energia solar no mundo**. Disponível em: < <https://exame.abril.com.br/economia/china-impulsiona-boom-da-energia-solar-no-mundo/>> . Acesso em: 20 mar. 2018.

BORGES, E. B. Energia Heliotérmica. **Avaliação Experimental de Coletores Cilindro-Parabólicos**. Disponível em: <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/especialistas/brasil-hlt-pesquisa/avaliacao-experimental-de-coletores-cilindro-parabolicos>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

BRASIL. Aneel. **BIG – Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

CALIXTO, Bruno. Época. **A aposta da Alemanha em energia solar**. Disponível em: <<https://epoca.globo.com/ciencia-e-meio-ambiente/blog-do-planeta/noticia/2017/06/aposta-da-alemanha-em-energia-solar.html>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CANAL ENERGIA. Absolar. **Solar ainda enfrenta obstáculos para se firmar no Brasil**. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/solar-ainda-enfrenta-obstaculos-para-se-firmar-no-brasil.html>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

CANALTECH. **Recorde: Alemanha cobre 95% da demanda de energia elétrica com fontes renováveis**. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/meio-ambiente/alemanha-cobre-95-da-demanda-de-energia-eletrica-com-fontes-renovaveis-65953/>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CENERGEL. **Rede de supermercados Condor inaugura usina de energia solar**. Disponível em: <<http://cenergel.com.br/post.aspx?id=164&nome=rede-de-supermercados-condor-inaugura-usina-de-energia-solar>>. Acesso em: 4 mai. 2018.

COSTA, Susana Pereira Lemos. **Armazenamento de Energia Térmica Através de Materiais de Mudança de Fase**. Porto: Universidade do Porto, 2014.

CSEM BRASIL. **Empresa mineira cria estacionamento solar para carregar veículos elétricos**. Disponível em: <<http://csembrasil.com.br/empresa-mineira-cria-estacionamento-solar-para-carregar-veiculos-eletricos-ciclovivo/>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

ENERGY EDUCATION. **Solar Collector**. Disponível em:
<https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_collector#Types_of_Solar_Collectors >
. Acesso em: 23 jan. 2018

ENERGY SAGE. **Solar Panel Efficiency, Reviews & Ratings**. Disponível em:
<<https://www.energysage.com/solar/buyers-guide/solar-panel-efficiency/html> >. Acesso
em: 28 mar. 2018.

EXAME. **Alemanha fará desligamento de usinas nucleares até 2022**. Disponível em:
< <https://exame.abril.com.br/mundo/alemanha-fara-desligamento-de-usinas-nucleares-ate-2022/>> . Acesso em: 20 mar. 2018.

EXAME. **Alemanha fará desligamento de usinas nucleares até 2022**. Disponível em:
< <https://exame.abril.com.br/mundo/alemanha-fara-desligamento-de-usinas-nucleares-ate-2022/>> . Acesso em: 20 mar. 2018.

FELITTI, C. Galileu. **Alemanha bate recordes de produção de energia solar**.
Disponível em: <http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI314126-18537,00-ALEMANHA+BATE+RECORDES+DE+PRODUCAO+DE+ENERGIA+SOLAR.html?utm_source=blog&utm_campaign=rc_blogpost>. Acesso em: 28 abr. 2018.

FONSECA, M. Exame. **Startup de Curitiba oferece energia solar a 20 reais por mês**.
Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/pme/startup-de-curitiba-oferece-energia-solar-a-20-reais-por-mes/>>. Acesso em: 4 mai. 2018.

GOLD, RUSSEL. Fórum da construção. **Energia renovável ainda enfrenta obstáculos**. Disponível em: <
<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=18&Cod=867>> . Acesso em: 27
fev. 2018.

GUADAGNIN, C. Gazeta do Povo. **Gerar energia solar na “cinzenta” Curitiba é mais econômico que na Bahia**. Disponível em:
<<https://www.gazetadopovo.com.br/economia/energia-e-sustentabilidade/gerar-energia->

solar-na-cinzenta-curitiba-e-mais-economico-que-na-bahia-8ro3act7b6amxb320plzrq3zb>. Acesso em: 4 mai. 2018.

GUILHERME, Paulo. Tecmundo. **7 carros do futuro movidos apenas a energia solar**. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/energia-solar/89725-7-carros-futuro-movidos-energia-solar.htm>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

IMAX ENERGIA. **Energia solar na Alemanha: confira as principais iniciativas do país**. Disponível em: <<http://blog.imaxenergia.com.br/energia-solar-na-alemanha-confira-as-principais-iniciativas-do-pais/>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

KISOLTEC. **Reservatório Térmico (Boiler)**. Disponível em: <<http://kisoltec.com.br/produtos/reservatorio-termico>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

KOWALSKI, R. L. Bem Paraná. **Mesmo nublada, Curitiba tem ótimo potencial para energia solar, diz estudo**. Disponível em: <<https://www.bemparana.com.br/noticia/mesmo-nublada-curitiba-tem-otimo-potencial-para-energia-solar>>. Acesso em: 4 mai. 2018.

LIGHT SPORT AIRCRAFT PILOT. **Solar Riser, first solar powered aircraft makes first flight in 1979**. Disponível em: <<http://www.lightsportaircraftpilot.com/airventure2010/13.html>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

MAEHLUM, Matjis Aarre. Energy Informative. **The History of Solar Energy - Timeline**. Disponível em: <<http://energyinformative.org/the-history-of-solar-energy-timeline/>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; DE ABREU, S. L.; COLLE, S. **Brazilian Atlas for solar energy resource: swera results**. Florianópolis: ISES, 2007.

MUSUNURI, R. K.; SÁNCHEZ, D.; RODRIGUEZ, R. **SOLAR THERMAL ENERGY**. Gävle: University of Gävle, out. 2007.

NMA. Collection Search. **Quiet Achiever**. Disponível em: <<http://collectionsearch.nma.gov.au/object/37958#>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

OLIVEIRA, Priscila. Correio 24 horas. **Bom Jesus da Lapa recebe o maior parque solar da América Latina**. Disponível em: <<https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/bom-jesus-da-lapa-recebe-maior-parque-solar-da-america-latina/>>. Acesso em: 5 abr. 2018.

PORTAL SOLAR. **Alemanha se tornou líder em energia solar per capita**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/alemanha-se-tornou-lider-em-energia-solar-per-capita.html>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

PORTAL SOLAR. **A Melhor Direção do Painel Solar Fotovoltaico**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/a-melhor-direcao-do-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

PORTAL SOLAR. **Bateria Solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/bateria-solar.html>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

PORTAL SOLAR. **Estacionamento de Energia Solar em Fábrica de Sorvetes**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/curiosidades-sobre-energia-solar/estacionamento-de-energia-solar-em-fabrica-de-sorvetes.html>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

PORTAL SOLAR. Blog Solar. **História da energia solar: como tudo começou**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-da-energia-solar-como-tudo-comecou.html>>. Acesso em: 22 jan. 2018.

RENEWABLE ENERGY HUB. **The different types of solar thermal collectors: Solar Thermal Information**. Disponível em: <<https://www.renewableenergyhub.co.uk/solar-thermal-information/the-different-types-of-solar-thermal-panel-collectors.html>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

RENEWABLE ENERGY HUB. **The different types of solar thermal collectors: Solar Thermal Information**. Disponível em: <<https://www.renewableenergyhub.co.uk/solar-thermal-information/the-different-types-of-solar-thermal-panel-collectors.html>>.

thermal-information/the-different-types-of-solar-thermal-panel-collectors.html > . Acesso em: 23 jan. 2018.

ROSA, Mayra. Ciclo vivo. **Bairro solar na Alemanha produz quatro vezes mais energia do que consome**. Disponível em: <http://ciclovivo.com.br/arqurb/arquitetura/bairro_solar_na_alemanha_produz_quatro_vezes_mais_energia_do_que_consome/?utm_source=blog&utm_campaign=rc_blogpost>. Acesso em: 28 abr. 2018.

VENTURA, F. Tecnoblog. **China inaugura “estrada solar” que absorve luz para converter em eletricidade**. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/230968/china-estrada-solar/>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

ZIPP, Kathie. Solar Power World Online. **What is an inverter and how does it work?**. Disponível em: <<https://www.solarpowerworldonline.com/2013/04/how-do-solar-inverters-work/>>. Acesso em: 30 mar. 2018.